TECHNISCHE FACHHOCHSCHULE BERLIN

Studiengang Vermessungswesen FB III

DIPLOMARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur(FH)

Vermessungstechnische Erfassung und CAD-Modellierung der historischen Kirche „Surb Hakop“ in Armenien

eingereicht von

Hilmar Schüßler

Matrikel-Nr.: 728709

Betreut von: Prof. Dr. Ing. B. Resnik
Dipl. Ing. K. Kerkow

Abgabe: 10.07.08

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

KS	Koordinatensystem
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
km	Kilometer
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
BKS	Benutzerkoordinatensystem
WKS	Weltkoordinatensystem
TFH	Technische Fachhochschule
m	Meter
ppm	Part per Million
mgon	Milligon (1/1000gon)
Abb.	Abbildung
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit hat die vermessungstechnische Erfassung und CAD-Modellierung der historischen Kirchenruine „Surb Hakop“ in Armenien zur Thematik. Die Möglichkeiten der reflektorlosen Aufnahme, eine Netzausgleichung und CAD-Modellierung, sowie das Erstellen von Fassadenplänen stehen dabei im Vordergrund dieser Ausarbeitung.

Die Idee wurde aus der Zusammenarbeit der Universität Innsbruck und dem Diplomingenieur K. Kerkow geboren. Schon seit 2004 werden Lehrgrabungen für die Innsbrucker Studenten angeboten, welche zur archäologischen Beweisführung und Dokumentation seit 2006 von den TFH-Absolventen, unter Leitung von K. Kerkow, vermessungstechnisch begleitet werden.

Hauptaugenmerk der Reise ins mittelalterliche Aramus gilt einem Ruinenhügel, bei welchem man vermutet, dass sich dort eine stark befestigte, ausgedehnte Akropolis einer urartäischen Stadt befindet. Zu erwarten sind dort nicht nur Funde aus dem 8. bis 6. Jahrhundert v. Chr., sondern auch jüngere aus achämenidischer und hellenistischer Zeit. Aus diesem Grund ist der Grabungsplatz im Rahmen eines umfassenden Projektes des Instituts für „Alte Geschichte und Altorientalistik“, das sich mit dem Übergang der Kulturen im 1. Jahrtausend v. Chr. befasst, ausgewählt worden.

Weitere Untersuchungen beziehen sich auf das umliegende Gelände von Aramus und die im Dorf befindlichen Kirchenruinen. Auch die im Jahr 1863 neu erbaute Kirche des heiligen Jakobs (Surb Hakop) kann bei genauerer Dokumentation zur Beweisführung gestellter Thesen beitragen und soll deshalb im Zuge dieser Diplomarbeit vermessungstechnisch erfasst werden.

Dabei soll es nicht um ein formgetreues bzw. formgerechtes Aufmass gehen, der den derzeitigen Zustand des Gebäudes beschreibt und somit Architekten und Bauingenieuren als Planungsgrundlage für Bauschadensanalysen dient. Vielmehr soll die in dieser Arbeit vollzogene Bauwerksvermessung einer baugeschichtlichen Analyse dienen und Archäologen eine anschauliche und gut lesbare graphische Darstellung zur Verfügung stellen.

1.1 Armenien und das Dorf Aramus

Armenien ist die südlichste und mit 29.800km² die kleinste der drei Kaukasusrepubliken. Das Land grenzt im Norden an Georgien, im Osten an Aserbaidschan, im Süden an den Iran und im Westen an die Türkei. Der Norden Armeniens besteht aus den zerklüfteten Gebirgsketten des „Kleinen Kaukasus“, an die sich nach Süden das durchschnittlich 1000m hohe Armenische Hochland anschließt. Das Hochland ist in zahlreiche Beckenlandschaften gegliedert, von denen einige mit Seen, wie dem rund 1.400km² großen Sewansee, gefüllt sind. Das Klima ist durch kalte, relativ schneereiche Winter und trocken-heiße Sommer gekennzeichnet.



Abb. 1: Karte Süd-Osteuropa

Die Bevölkerung Armeniens umfasst 3,3 Millionen Einwohner und ist ethnisch relativ homogen. 91% sind Armenier, 5% Aserbaidshaner, 2% Russen und 2% Kurden. Die Armenier sind Christen und gehören zum überwiegenden Teil der armenisch-orthodoxen Kirche an. Über ein Drittel der Bevölkerung lebt in Eriwan (Jerewan), der Hauptstadt des Landes.

Das heutige Aramus liegt am südöstlichen Rande der Provinz Kotaykh, zirka 18km nordöstlich von der Hauptstadt Jerewan in einer Höhe von 1.440m. Das Dorf hat in etwa 3.500 Einwohner, die vor allem von Obst- und Gemüseanbau, insbesondere dem Karottenanbau, leben. Der Ort kann in drei wesentliche Siedlungsräume geteilt werden:

Erstens in das alte Dorf auf der rechten Seite der heutigen Hauptstraße, das den Grabungshügel mit urartäischer Besiedlung sowie den Friedhof mit mittelalterlichen Grabsteinen umfasst. Zweitens in das Dorfzentrum links der Hauptstraße mit der Kirche des Heiligen Jakobs (Surb Hakob) von 1863, der vollständig neu erbauten Avetaran-Kapelle von 2003 und den eindrucksvollen Resten der Tsiranavor-Kirche aus dem 7.Jahrhundert. Der dritte und jüngste Teil, Neu-Aramus, liegt nördlich des zweiten Hügels, auf dem noch Reste hellenistischer und mittelalterlicher Besiedlung wahrzunehmen sind.

1.2 Die Kirche „Surb Hakop“

Da keine öffentlichen Angaben zu dieser Kirche zu finden waren, sind die in diesem Kapitel gemachten Beschreibungen und Erklärungen der Univ. Doz. Dr. Jasmine Dum-Tragut zu verdanken, welche mir einige Zeilen aus ihren eigens verfassten, noch nicht veröffentlichen Artikeln im Aramus-Buch, zukommen ließ.

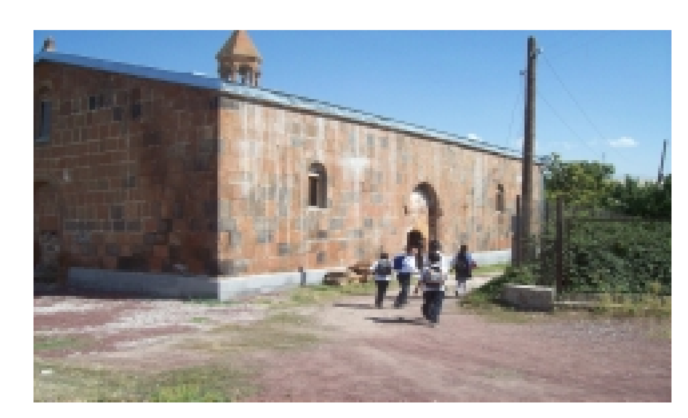


Abb. 2: „Surb Hakop“

Die Kirche „Surb Hakop“ (Saint James) befindet sich mitten im Zentrum des Dorfes Aramus, nicht weit entfernt von der „Ciranavor“- Kirche. Entsprechend der Inschrift am südlichen Haupteingang, wurde die Kirche 1863 mit Hilfe des Priesters „Hovhan“ für die neue Bevölkerung Armeniens, welche sich beträchtlich mit der Immigration von persischen Armeniern aus der Region “Xoy“ (historische Provinz Ostarmeniens) Anfang des 19ten Jahrhunderts erhöht hatte, erneuert. Kalktuff-Blocks und Bruchstücke von mittelalterlichen Kreuzsteinen lassen den Schluss zu, dass sie auf dem Fundament einer älteren Kirche erbaut worden ist.

In den darauf folgenden Jahren wurde sie zur Hauptkirche des Dorfes und blieb es bis zum kommunistischen Zeitraum, wo sie nur als große Kornkammer genutzt worden ist. Erst in den letzten Jahrzehnten gewann sie ihren Charakter als wichtigste Kirche des Siedlungsgebietes wieder.

Architektonisch ist die Kirche des „Heiligen Jakobs“ ähnlich anderer Dorfkirchen dieser Zeit. So hat sie drei Seitenschiffe, einen rechtwinkligen Grundriss ungefähr im Verhältnis 1:2 und ein Gibeldach. Die engen Seitenschiffe sind durch die T-förmigen Pfeiler vom viel breiteren und längeren Hauptschiff getrennt. Jedes Schiff hat sein eigenes gewölbtes Dach. Die Innenwände der Kirche sind weiß gewaschen.

2. Allgemeine Grundlagen

In diesem Kapitel werden alle nötigen Sachverhalte und Theorien, die zur Datengewinnung und Datenbearbeitung des Projekts von Nöten waren, kurz und prägnant angesprochen.

2.1 Die Bauaufnahme

Ziel der Bauwerksvermessung ist die Erfassung der Form und des Zustandes eines Bauwerks. Diese erlaubt es Architekten, Bauingenieuren, Bauforschern oder wie in dem hier zu bearbeitenden Fall Archäologen, ihre Berufe zu lokalisieren und Zusammenhänge zu erkennen. Die Bauaufnahme erfasst ein Bauwerk in einer für den Zweck angemessenen Detaillierung und ist wesentlicher Bestandteil der wissenschaftlichen Forschung.

Die Zeit und die Nutzung hinterlassen an jedem Bauwerk ihre Spuren, so dass es zu einem Dokument seiner Zeit wird. Um den aktuellen Zustand eines Gebäudes zu dokumentieren und die teilweise vergänglichen Spuren zu sichern, oder um die Geschichte des Objekts, manchmal sogar seiner Nutzer und seiner Umgebung, zu rekonstruieren ist die Bauaufnahme ein wichtiger Gegenstand der baugeschichtlichen Analyse.

Der Bauwerksvermessung steht eine Vielzahl von Methoden zur Auswahl, welche sich in vier Gruppen einteilen lassen: das Handaufmass, geodätische/ photogrammetrische Methoden und das Laserscanning. Die in dieser Arbeit vollzogene Aufnahmemethode war **geodätischer**, bzw. **photogrammetrischer** Natur und wird im Folgenden etwas näher beschrieben.

Die **geodätischen** Methoden basieren auf Winkel- und Streckenmessungen mit einem Theodoliten und Koordinaten einzelner vermessener Punkte im dreidimensionalen Raum. Die bei der Aufnahme der „Surb Hakop“ verwendete reflektorlose Tachymetrie erlaubte effiziente Messstrategien mit einem automatischen Datenfluss vom Instrument bis zum 3D CAD-Modell.

Photogrammetrische Methoden haben die Verwendung bildgebender Techniken, wie Fotografien oder digitale Bilder, als Zwischenprodukt zur Basis. Aus diesen Daten können zwei- oder dreidimensionale, vektor- oder rasterbasierte, beschreibende Dokumentationen der Objekte abgeleitet werden.

2.2 Bezugssysteme / Netze

Bei jeder systematischen Messung ist es von entscheidender Bedeutung ein ortsfestes, geometrisch stabiles und jederzeit widerherstellbares Bezugssystem (Referenzsystem) zu erarbeiten, auf welche sich alle Messungen beziehen. Es wird in der Örtlichkeit des Objekts von einigen (mindestens zwei) vermarkten Punkten realisiert. Diese müssen unabhängig von möglichen Veränderungen am Objekt sein. Ein solches Festpunktfeld macht die Vermessung zusammenhängender großräumiger Objekte erst möglich und wird auch Netz genannt.

Für das Vermessungsnetz eines Gebäudes (Kirche) ist die Anlage und das Design des Netzes von entscheidender Bedeutung. Es muss das Objekt umschließen und durchdringen und ist hierarchisch aufzubauen. Je nach Aufgabenstellung empfiehlt sich ein lokales Netz (freies Netz) oder eine Einbindung in das vorhandene übergeordnete regionale Festpunktfeld.

Die Bestimmung der Koordinaten aller Punkte des Bezugssystems ist die Aufgabe der Netzmessung. Sie verbindet die Erfassung von Standpunkten und Neupunkten und erlaubt die optimale Kontrolle aller Messungselemente (sofern Überbestimmungen vorliegen) und optimiert die Genauigkeit aller zu bestimmenden Unbekannten.

2.3 Netzausgleichung

Das in der Örtlichkeit gemessene Netz muss einer Ausgleichung unterzogen werden. Eine solche Netzausgleichung ermöglicht die gleichzeitige Fehleranalyse der gemessenen Richtungen, Zenitdistanzen und Strecken. Dabei wird das Netz in ein rechnerisches Modell gefasst und die Messungen nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Dieser Vorgang minimiert die Wirkung der (unvermeidlichen)

zufälligen Messabweichungen, indem sie auf die kleinstmögliche Quadratsumme beschränkt werden. Die Netzqualität und -zuverlässigkeit wird durch die Ausgleichung geprüft und sichergestellt.

2.4 Freie Stationierung

Die freie Stationierung ist ein flexibles Verfahren zur Bestimmung der Koordinaten und der Orientierung am aktuellen Standpunkt. Bei der freien Standpunktwahl, werden auf dem Instrumentenstandpunkt mit einem elektronischen Tachymeter Richtungen und Strecken zu mindestens zwei bekannten Anschlusspunkten gemessen. Der Standpunkt wird der örtlichen Situation entsprechend frei gewählt, so dass von ihm aus sowohl die Anschlusspunkte als auch die aufzunehmenden oder abzusteckenden Punkte zu sehen sind.

Die Berechnung der Koordinaten des Standpunktes und der Neupunkte erfolgt aus den Polarkoordinaten zu den Anschlusspunkten. Hierbei werden die gemessenen Strecken und Richtungen in ein örtliches, rechtwinkliges KS umgewandelt, wobei eine Koordinatenachse mit der Nullrichtung des Teilkreises zusammenfällt. Diese Polarkoordinaten werden dann mit einer Koordinatentransformation ins System der Anschlusspunkte überführt.

Für eine Genauigkeitssteigerung der Stationierung ist es günstiger mehr als zwei Anschlusspunkte in die Berechnung des Standpunktes mit einzubeziehen. Bei zwei Anschlusspunkten handelt es sich um eine Ähnlichkeitstransformation, bei mehreren um eine Helmerttransformation. Wegen der mathematischen Überbestimmung entstehen bei der Transformation Abweichungen in den Koordinaten (Restklaffungen) zwischen den Anschlusspunkten im System der Anschlusspunktkoordinaten (Lagefestpunktfeld) und den Koordinaten im System der Messung. So erhält man schon im Feld einen Eindruck über die Güte der Stationierung und kann grobe Fehler aufdecken.

Ein großer Vorteil gegenüber der Stationierung über einem bekannten Punkt ist, dass man keine Instrumentenhöhe messen muss, da durch die Höhe der angezielten Passpunkte, die Höhe des Instrumentenhorizonts berechnet wird.

2.5 Die reflektorlose Aufnahme

Da die gesamte Innenaufnahme der Kirche ohne die Anwendung eines Reflektors erfolgte, wird diese relativ neue Möglichkeit der Punktaufnahme in diesem Abschnitt etwas genauer erörtert.

Moderne Tachymeter geben dem Vermesser die Möglichkeit, Entfernungen auch ohne Reflektor zu messen. Bedingung für eine reflektorlose Messung ist, dass die Oberfläche den Messstrahl des Gerätes ausreichend reflektieren kann. Die Visurlinie wird für den Beobachter durch die Verwendung von sichtbarem Laserlicht ermöglicht. Durch einen Kontrollblick durch das Fernrohr ist der Punkt mit Hilfe des Fadenkreuzes exakter einzustellen, da das Licht des Laserstrahls am Objekt eine kleine Fläche bildet. Die Messung ohne Reflektor wird in der Vermessung verstärkt für Innenräume und für unzugängliche Punkte (Hochpunkte) verwendet.

2.5.1 Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung

Die Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung ist abhängig von der Reflexion des Laserstrahls. Dazu sind die folgenden vier Komponenten von F. Kern 2003 untersucht worden:

1. REFLEXION

Die Art der Reflexion hängt von der Oberflächenrauhigkeit ab. Das heißt bei glatten Oberflächen findet eine Spiegelung statt und bei rauhen Oberflächen eine diffuse Reflexion (Abbildung 3). Die Spiegelungen führen dazu, dass die Messung fehlschlägt. Zwischen den beiden Extremen der spiegelnden und diffusen Reflexion ist das Verhalten der meisten natürlichen Oberflächen zu beobachten. Bei der Bauaufnahme begegnet dem Nutzer meistens diffuse Reflexion. Die Art der Reflexion hat nur insoweit eine Auswirkung auf die Streckenmessung, als dass sie fehlschlägt, wenn nicht genügend Energie zurückgeworfen wird. Ein Einfluss auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messergebnisse ist nicht zu erwarten.

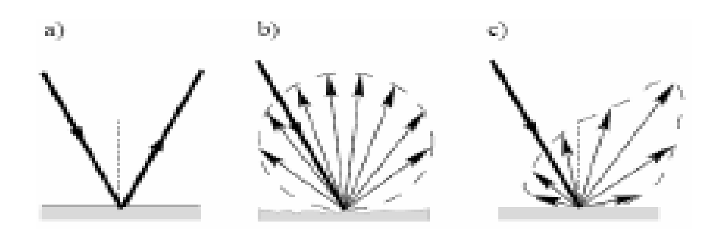


Abb. 3: Spiegelungen

2. EINFLUSS VON ZIELGEOMETRIE UND EINFALLSWINKEL

Wegen der Divergenz trifft der Messstrahl flächenhaft auf das Objekt in Form von einem Leuchtkreis oder als Leuchtellipse.

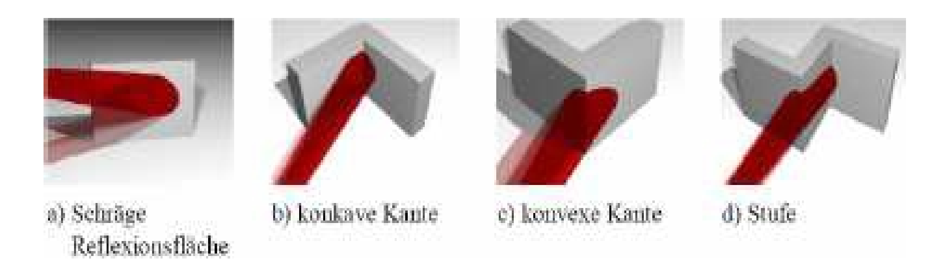


Abb. 4: Strahldivergenz

Die typischen Ausprägungen der Reflexionsflächen können für Bauwerke in vier Klassen eingeteilt werden (Abbildung 4). Zum einen die einfache ebene Reflexionsfläche (Abbildung 4a), wie sie eine Wand- oder Bodenfläche darstellt. Die zweite Situation stellt die innere Raumecke oder -kante (Kehle) (Abbildung 4b) dar. Bei der dritten Klasse handelt es sich um eine in Richtung Lasermessgerät hervorstehende Raumecke oder Kante (Abbildung 4c), wie dies z.B. bei einem Wandvorsprung anzutreffen ist. Die vierte Abbildung 4d zeigt eine tiefengestaffelte Objektgeometrie, bei der der Laserstrahl in mehrere Teile zerfällt.

Versuche haben gezeigt, dass es eine Abhängigkeit des Streckenergebnisses vom Einfallswinkel gibt. Dabei wurde festgestellt, dass die Streckenmessungen auf eine konvexe Kante zu kurz gemessen werden und auf eine konkave Kante zu lang. Ziele, die Stufen darstellen oder extremes Streiflicht haben, führen meist zu grob falschen Messergebnissen.

3. EINFLUSS DER MATERIALEIGENSCHAFTEN

Die Farbe eines Materials ist abhängig davon, welche Wellenlänge das Material reflektiert und welche absorbiert. Sie hat nur Einfluss auf die Streckenmessung indem sie die Empfangsleistung des zurückkehrenden Lichtes beeinflusst. Dabei wird im Allgemeinen der rote Laserstrahl von hellen Farben gut reflektiert und von dunklen schlechter. Der Einfluss des Materials selbst auf die Streckenmessung ist abhängig von der Objektrauhigkeit. Messungen auf Materialien mit rauher Oberfläche liefern Streckenmessungen, die zuweilen zu lang werden. Bei allen anderen Materialien liegt die Genauigkeit unter 3mm und ist vernachlässigbar.

4. EINFLUSS DER ATMOSPHÄRISCHEN BEDINGUNGEN

Die reflektorlose Entfernungsmessung kann fehlschlagen, wenn das Licht in der Atmosphäre zu stark gedämpft wird, weil Nebel, Staub oder Abgase die Sicht behindern oder weil die Zielentfernung zu groß ist. Systematisch beeinflusst werden kann die Messung durch die Temperatur, den Luftdruck und das Umgebungslicht.

2.6 Das Polarverfahren

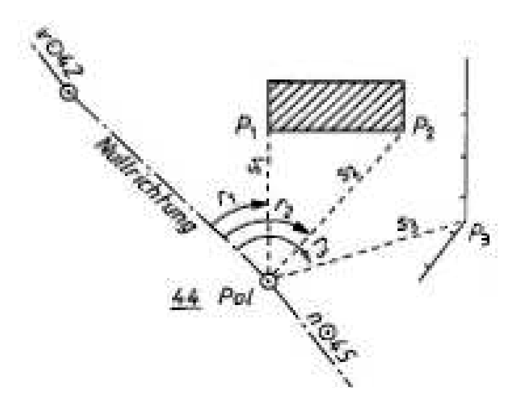


Abb. 5: Polaraufnahme

Unter Polarpunktaufnahme oder Polaraufnahme ist die Bestimmung der Lagekoordinaten von Objektpunkten (Neupunkten) durch Richtungs- und Streckenmessung zu verstehen. Bei der technischen Vermessung oder bei Absteckungen ist sie die häufigste Methode.

2.6.1 Genauigkeit des Polarverfahren

Die Genauigkeit des Polarverfahrens hängt zum größten Teil von der Genauigkeit σ_s der gemessenen Strecke s, der Genauigkeit σ_r der gemessenen Richtungen und die Fehler der verwendeten Festpunkte σ_F des jeweiligen Netzes ab. Die Koordinaten eines Punktes berechnen sich Polar wie folgt:

$$\mathbf{x_P = x_A + s_{AP} \cos(t_{AP})} \qquad \mathbf{y_P = y_A + s_{AP} \sin(t_{AP})} \qquad [2.6.1.1]$$

Nach Linearisierung nach Taylor, Vereinfachen der Terme und dem Anwenden des Varianzfortpflanzungsgesetzes erhält man den Punktfehler einer Messung:

$$\mathbf{\sigma_P^2 = \sigma_F^2 + \sigma_s^2 + 2s^2\sigma_r^2} \qquad [2.6.1.2]$$

Trifft man die Annahmen, dass der mittlere Punktfehler des Festpunktfeldes der Kirche bei 3mm liegt und die des Instrumentenherstellers angebenden Standardabweichungen von 0.6mgon für die Winkelmessung und 3mm+2ppm (mit 3mm gerechnet) für die reflektorlose Distanzmessung der Realität entsprechen, kommt man auf einen mittleren Punktfehler von ±4,25mm (nur für die Lage!). Gerechnet wurde dabei mit einer Strecke von 20m.

Fehler des Kompensators, Zentrierungenauigkeiten beim Aufstellen des Geräts, Fehler des Beobachters und die unter 2.5.1 angesprochenen Fehlerquellen sind bei der Rechnung vernachlässigt worden.

2.7 Instrumentenfehler

Um die von den Geräteherstellern angegebenen Genauigkeiten einhalten zu können, sind die verwendeten Geräte vor Messungsbeginn zu prüfen und zu kalibrieren. Für diese Aufgabe stehen geräteinterne Programme zur Verfügung. Durch die Kalibrierung werden alle Messwerte um folgende mechanische Instrumentenfehler korrigiert.

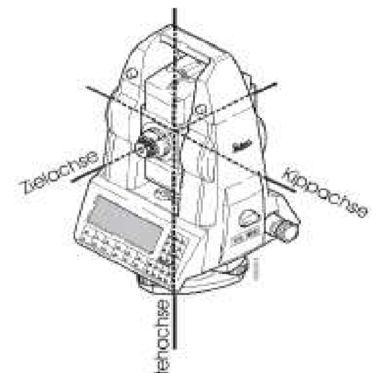


Abb. 6: Achsen eines Theodoliten

- **l**, **q** **Indexfehler des Zweiachskompensators** (Stehachsenfehler) entspricht der Spielpunktbestimmung der Libellenblase.
- **i** **Indexfehler Vertikalkreis** (Höhenindexfehler) ist der Nullpunktfehler des Vertikalkreises gegenüber der Stehachse.
- **c** **Zielachsfehler** ist die Abweichung vom rechten Winkel zwischen Kippachse und Ziellinie.
- **k Kippachsenfehler** ist die Abweichung vom rechten Winkel zwischen Kippachse und Stehachse.
- **e** **Exzentrizitätsfehler** liegt vor, wenn Stehachse, Kippachse und Vertikalachse nicht genau durch einen Punkt gehen

Durch Beobachtung in zwei Lagen werden Zielachsfehler, Kippachsfehler, Exzentrizität der Zielachse und Höhenindexfehler kompensiert.

Weitere Gerätefehler sind der zyklische Phasenfehler, Frequenzfehler, Nullpunktskorrektur und die Phaseninhomogenität. Eine solche Überprüfung bezüglich der Streckenmessgenauigkeit ist zum Beispiel auf der Teststrecke im Keller der TFH-Berlin im Haus Bauwesen möglich. Hierauf wurde jedoch im Vorfeld der Messungen verzichtet, da das verwendete Gerät eines neuen Baujahrs war und unter ständiger Kontrolle der TFH lag. Demzufolge wurde auf die Herstellerangaben vertraut.

3. Geräteauswahl

Bei der Auswahl der Instrumente waren Kriterien wie Genauigkeitsanforderung, Planungsumfang und Aufwandsminimierung entscheidend, wobei sich die Aufwandsminimierung auf die Beschaffung und die Erfahrung mit den jeweiligen Geräten bezieht. So wurden die Geräte, ob Tachymeter oder Kamera, von der TFH-Berlin bereitgestellt, wo sie bei praktischen Übungen im Verlaufe der vorangegangenen Semester schon im Einsatz waren. Ein wichtiges Kriterium der Grätewahl war im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung reflektorlose Messung zu sehen.

Letztendlich fiel die Wahl auf das TCRP 1202 von der Firma Leica und die Nikon D200. Beide Instrumente werden auf den kommenden Seiten näher beschrieben.

3.1 Das TCRP 1202



Abb. 7: TCRP1202

Die tachymetrische Aufnahme, sowie die Netzmessung, erfolgt mit dem elektronischen Tachymeter TCRP1202 von der Firma Leica. Es wird mit einer hohen Qualität her-gestellt, montiert und justiert.
Elektronische Tachymeter sind Theodolite mit integrierten elektonischen Bauteilen zur elektrooptischen Distanz-messung.

Der Kompensator

Ein Zwei-Achs-Kompensator überwacht stets die beiden Komponenten der Stehachsschiefe. Der Kompensator besteht aus einer Strichfigur auf einem Prisma, die zwei Mal von einem Flüssigkeitsspiegel reflektiert wird, der den Bezugshorizont bildet. Das reflektierte Bild der Strichfigur wird von einem linearen CCD-Array gelesen. Es wird dazu verwendet, beide Neigungskomponenten mathematisch zu ermitteln. Anhand dieser Komponenten werden alle Winkelmessungen sofort korrigiert.

Beschreibung der Winkelmessung

Das hochgenaue und zuverlässige Winkelmess-System besteht aus einem festen, strichcodierten Glaskreis, der von einem linearen CCD-Array gelesen wird. Ein spezieller Algorithmus ermittelt die exakte Position der Codestriche auf dem Array und liefert eine fortlaufend genaue Messung.

Beschreibung der Distanzmessung mit einem Reflektor (IR)

Der IR-EDM sendet einen unsichtbaren Laserstrahl an einen Spiegel, wie z.B. bei Prismen oder Reflexfolien. Das reflektierte Licht wird von einer Empfangsdiode erfasst und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Nachdem das Signal digitalisiert und gespeichert wurde, wird die Distanz nach dem modernen Phasenmessprinzip ermittelt.

Beschreibung der reflektorlosen Distanzmessung (RL)

Der reflektorlose EDM PinPoint R100 sendet einen genau ausgerichteten sichtbaren roten Laserstrahl zum Ziel. Die Distanz wird mit dem Phasenmessprinzip ermittelt, das eine Messung auf schwach reflektierende Ziele ermöglicht, auch bei Distanzen die länger als 100 m sind. [Leica, Technische Daten]

Die Genauigkeiten, die das Instrument TCRP1202 laut Herstellerangaben für die einzelnen Messvorgänge aufweist, sind in den Tabellen 1 und 2 beschrieben.

Tabelle 1: Genauigkeiten der Messelemente

Winkelmessung [*Standardabweichung*]	Distanzmessung mit Reflektor [*Standardabweichung/Messzeit*]	Distanzmessung reflektorlos [*Standardabweichung/Messzeit*]
Hz, V: 2" (0.6mgon)	Standart-Modus: 2mm-2ppm	0m - 500m: 3mm + 2ppm >500m: 5mm + 2ppm

Tabelle 2: Genauigkeit des Kompensators

Kompensator [*Einspielgenauigkeit* :]	0.5" (0.2mgon)

3.2 Die Nikon D200

Nikon D200 ist eine digitale Spiegelreflexkamera, die sich hervorragend für die photogrammetrische Datenerfassung eignet. Sie zeichnet sich durch einen 10 Megapixel CCD-Ship aus, der das gewünschte Objekt für die weitere Bearbeitung in einer sehr guten Auflösung aufnimmt. Die Kamera bietet die Möglichkeit zwischen einem 20-, 35- und 50 Millimeter - Objektiv zu wählen. Die Wahl fiel auf das 20 Millimeter - Objektiv, da die Entfernung zum Objekt in den meisten Fällen weit unter 10 Metern lag und somit der größtmögliche Fassadenbereich erfasst werden konnte. Abbildung 8 zeigt die gut zu handhabende Kamera und in Tabelle 3 sind die dazu gehörigen technischen Daten kurz zusammen gefasst.



Abb. 8: Nikon D200

Auflösung	3872 x 2592 Bildpunkte (ca. 10 Megapixel)
Sensor	23,6 x 15,8 mm RGB CCD-Ship
Farbtiefe	36 bit
Abmessungen	147 x 134 x 74 mm
Gewicht	930 g (ohne Objektiv)

Tabelle 3: Technische Daten

4. Grundlagen der graphische Bearbeitung

Auswertungsprotokolle und Messdokumentationen (Feldrisse etc.) sind nicht als Endergebnis anzusehen, sondern in der Regel noch einer CAD-Bearbeitung zuzuführen. Hier werden dann die Layerzuordnung kontrolliert, Widersprüche aufgedeckt und aufgeklärt sowie graphische Attribute zugewiesen. Dieser Prozess hat auch ein kreativ gestaltendes Element. Ist es doch Ziel, eine anschauliche und gut lesbare graphische Darstellung zu erhalten.

Mit der Entwicklung der Vermessung haben sich eine Menge etablierter Methoden zur Beschreibung dreidimensionaler Objekte heraus gebildet. Die zur Modellierung der „Surb Hakop“ verwendeten Verfahren, werden in diesem Abschnitt erläutert.

4.1 CAD - Bearbeitung

Mit dem Begriff CAD (**C**omputer **A**ided **D**esign) wird das Erstellen von technischen Zeichnungen mit Hilfe einer EDV-Anlage bezeichnet. Mit ihnen können weiterhin dreidimensionale Volumenmodelle erstellt werden. Daraus können zwei- oder dreidimensionale Zeichnungen und sogar bewegte Visualisierungen der Objekte abgeleitet werden. Mit den Volumenmodellen kann man mit Hilfe spezieller Software verschiedenste Simulationen durchlaufen lassen.

4.2 Drahtmodell

Das Drahtmodell ist eine einfache dreidimensionale Darstellung in der Computergrafik. Die Eckpunkte eines Objektes werden durch Linien miteinander verbunden und das entstehende Modell wird auf eine zweidimensionale Fläche projiziert. Bei der zweidimensionalen Projizierung kann man durch das Modell hindurchschauen und sieht wie in Abbildung 10 auch die verdeckten Teile.

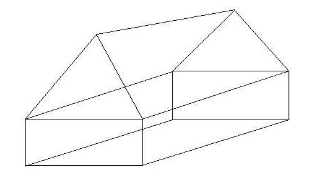


Abb.9: Drahtmodell

Eine solche Ansicht ist für viele Betrachter schwer zu interpretieren, da durch die Sicht auf alle Teile eine Rekonstruktion des 3D-Körpers erschwert wird. Oft kommt es dabei zu einer Fehlinterpretation, weil der Betrachter nicht entscheiden kann, welche Kanten sichtbar sind und welche nicht. In einigen heutigen Programmen gibt es aber die Möglichkeit nicht sichtbare Linie für die jeweilige Ansicht verdeckt darzustellen.

4.3 Flächenmodell

Bei einem Flächenmodell wird das Objekt durch Begrenzungsflächen beschrieben. Die Außenflächen des Modells werden zwischen den Begrenzungskanten eines Drahtmodells aufgespannt (Abbildung 10 und 11). Zwischen den Kanten und/oder Ecken des Objektes können beim Flächenmodell beliebige (analytische) Flächen erzeugt werden. Diese Flächen ermöglichen auch das Modellieren von gekrümmten Oberflächen. Nicht sichtbare Bereiche werden verdeckt.

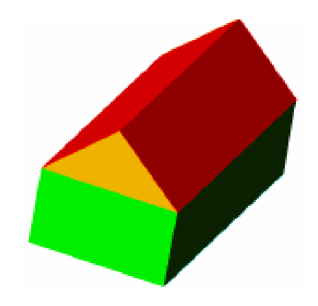




Abb.10: Flächenmodell 1

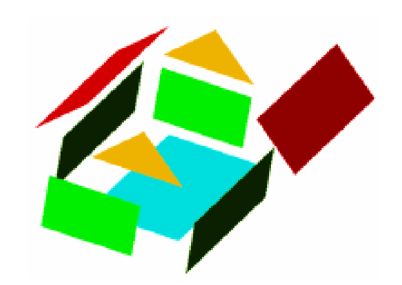


Abb.11: Flächenmodell 2

4.4 Volumenmodell

Das Volumenmodell ist eine Erweiterung des Flächenmodells. Durch zusätzliche Konstruktionsvorschriften lässt das Flächenmodell die Beschreibung eines Volumens zu. Die Volumenbeschreibung kann zum einen als Boundary Representation (B-rep) oder als Constructive Solid Geometry (CSG) erfolgen. Den Volumenkörpern können Eigenschaften (z.B die Dichte) zugeordnet werden, wodurch diese zum Produktmodell erweitert werden.

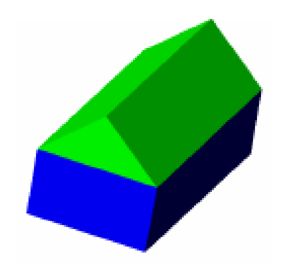




Abb.12: Volumenmodell 1

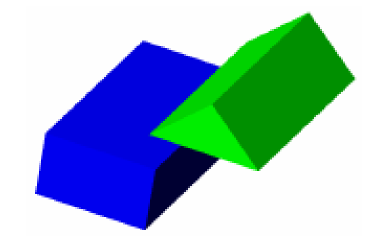


Abb.13: Volumenmodell 2

4.4.1 Randflächenmodell (Boundary Representation)

Bei dem Randflächenmodell werden die umgrenzenden Flächen über Eckpunkte, Kanten und Flächengeometrien beschrieben. Die Flächen werden dabei einem geschlossenen Körper topologisch zugeordnet. Der einfachste Körper der gebildet werden kann ist ein Tetraeder, welcher aus drei Dreiecksflächen besteht. Die Elemente der Datenstruktur der Boundary Representation sind in zwei Kategorien eingeteilt. Es gibt geometrische Elemente (Punkt, Kurve, Fläche) und topologische Elemente (z.B. Körper, Maschen, Ecken, Kanten). Dabei bilden die topologischen Elemente zusammen mit den geometrischen Elementen die Randflächendarstellung.

Eine Sonderform der Boundary Representation sind die dreiecksvermaschten Oberflächen. Hier wird die Oberfläche in viele kleine, möglichst gleichseitige Dreiecke zerlegt um eine wirklichkeitsnahe Darstellung zu erzielen. Zur Darstellung gekrümmter Oberflächen bestehen die Dreieckseiten nicht aus geraden Linien, sondern aus 3D-Splines (Kurven). Somit können beliebig geformte Flächen, so genannte Freiformflächen, in einer angemessenen Auflösung dargestellt werden.

4.4.2 CSG (Construction Solid Geometry)

Die Konstruktive Festkörpergeometrie (CSG) ist eine Technik zum Modellieren von Körpern. Sie ermöglicht es, komplexe Oberflächen und Körper zu erzeugen. Dabei werden boolesche Operatoren benutzt, um Objekte zu kombinieren. Um CSG-Körper zu kreieren, werden Basisobjekte verwendet. Basisobjekte sind z.B. Würfel, Zylinder, Prismen, Pyramiden, Kugeln oder Ringe. Wie viele Basisobjekte zur Verfügung stehen, ist vom jeweiligen Software-Paket abhängig.

Die verwendeten Operationen zum Verknüpfen der Objekte sind: Vereinigung, Differenz und Schnitt. Bei der Vereinigung werden zwei Objekte zu einem verschmolzen, es geht nichts verloren. Die Differenz subtrahiert (schneidet heraus) Teile des zweiten Objekts aus dem Ersten. Der Schnitt zeigt am Ende nur noch den Teil, den beide Objekte gemeinsam haben.

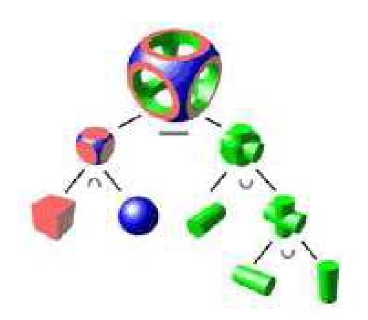


Abbildung 14: CSG-Baum

Bei mehreren hintereinander ausgeführten CSG-Operationen lässt sich ein CSG-Baum erstellen. Am Ende des Baumes steht das Endergebnis (Abbildung 14).

4.5 Rendern

Der Befehl *Rendern* erstellt aus einem Volumen- oder Flächenmodell ein photorealistisches oder ein realistisch schattiertes Bild. Dabei werden die Flächen mit der eingestellten Layerfarbe oder mit den eingestellten Materialstrukturen gefüllt. Umgesetzt werden drei grundsätzliche Verfahren, diese sind:

Render: Ist eine Standard-Renderoption, welche in Gouraud- oder Phong-Einstellung durchgeführt werden kann. Bei der Gouraud-Einstellung werden die Eckfarbwerte des Dreiecks bestimmt und bei der Rasterung interpoliert. Dies führt zu einer gleichmäßigen Schattierung. Die Phong-Einstellung interpoliert hingegen die die Fläche beschreibenden Normalenvektoren, was weiche Farbverläufe und Glanzpunkte ermöglicht

Photo Real: ist ein Rendermodus, welcher Transparenz und Bitmap-Materialien anzeigen kann

Photo Raytrace: hier werden Reflexion, Lichtbrechung und exakte Schatten mit Raytracing (Strahl-Verfolgung) berechnet.

5. Grundlagen der Architekturphotogrammetrie

Die Architekturphotogrammetrie dient zur Dokumentation von Gebäuden und ist eine Technik zur Vermessung (2D/3D) von Objekten anhand fotografischer oder digitaler Bilder. Sie gliedert sich in vier Arbeitsschritte, welche zeitlich und örtlich unabhängig voneinander erfolgen können. Diese sind die Aufnahme, Orientierung und Auswertung der Bilder und die Visualisierung der Ergebnisse. Des Weiteren unterscheidet man in Einzelbild-, Stereo- und Mehrbildphotogrammetrie. Die im Zuge dieser Diplomarbeit benötigten Vorkenntnisse der 2-Dimensionalen Auswertung von digitalen Bildern gilt die Aufmerksam in diesem Kapitel.

5.1 Einzelbildphotogrammetrie

Bei der Einzelbildphotogrammetrie wird ein Objekt auf nur einem Bild aufgenommen, bzw. die unterschiedlichen Bilder werden einzeln behandelt. Sie eignet sich hervorragend um Gestaltungen in einer Bezugsfläche zu beschreiben. Dazu werden aus digitalen Bildern Entzerrungen oder Abwicklungen der definierten Bezugsflächen in eine Ebene gerechnet. Die Kenntnis der Geometrie des Objekts ist vorab erforderlich, wie z.B. eine Hausfassade, die man im Rahmen der zu erzielenden Genauigkeiten als eben betrachten kann.

5.2 Die Parameter der inneren Orientierung

Die Parameter der inneren Orientierung einer Kamera beschreiben die Abweichung vom mathematischen Modell der Zentralperspektive, sowie die Lage des Projektionszentrums im kamerafesten Bildkoordinatensystem. Parameter der inneren Orientierung sind:

- Bildhauptpunktlage x_0, y_0: Lotfußpunkt des Projektionszentrums im System der Bildkoordinaten.

- Kamerakonstante c: Lotrechter Abstand vom Projektionszentrum zur Bildebene.

Parameter der Bildfehler beschreibenden Funktionen (Verzeichnungen):

- Radial-symetrische Verzeichnungen **A_1, A_2**: Entstehen überwiegend aus Brechungsfehlern der Linsen des Objektivs und steigen mit zunehmenden Abstand zum Bildhauptpunkt an.

- Maßstab und Scherung **A_3, A_4**: Beschreiben die Abweichung des Bildkoordinatensystems von der Rechtwinkeligkeit und Gleichmäßigkeit der Koordinatenachsen. Sind durch Réseaukorrektur bei analogen Kameras schon berücksichtigt und bei Digitalkameras als ausschließliche Daten der inneren Orientierung angebracht.

- Tangential-asymetrische Verzeichnung **A_5, A_6**: Wird durch die Dezentrierung der Linsen verursacht und ist bei analogen Kameras kaum signifikant.

Die Beträge der Verzeichnungsparameter **A_3** bis **A_6** sind bei hochwertigen Objektiven kleiner als der mittlere Fehler der Bildkoordinaten und seien deshalb im weiteren Verlauf dieser Arbeit vernachlässigt (nur bei hochgenauen Vermessungen zu berücksichtigen). Der in vielen Fällen einzige sichtbare Fehlereinfluss bei Bildern ist die radial-symmetrische Verzeichnung und wurde deshalb im Rahmen einer Kalibrierung bestimmt.

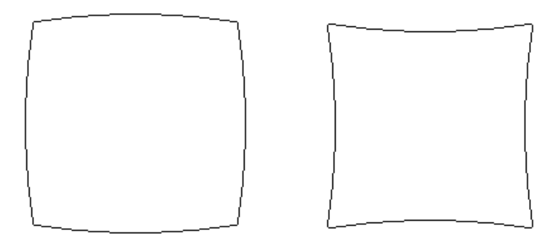


Abb.15: tonnenförmige (links) und kissenförmige (rechts) radial-symmetrische Verzeichnung

5.3 Ebene Entzerrung

Die ebene Entzerrung ist eine Methode zur Gewinnung bildhafter Objekt-beschreibungen, die die Geometrie eines maßstäblichen Planes aufweisen sollen. Bei der Orthoprojektion wird die Oberfläche eines Objekts senkrecht auf eine Fläche projiziert. Ist diese Fläche eine Ebene, so ist dies auch eine Parallelprojektion.

Ebene Entzerrungen dürfen nur zur Abbildung ebener Oberflächen verwendet werden, da alle Objektpunkte die über oder unter der Projektionsebene liegen, umgeklappt werden. Zur Abschätzung der erlaubten Abweichungen aus der Objektebene kann folgende Formel verwendet werden, wobei Δr die radiale Umklappung der Fassadenpunkte, c_k die Kamerakonstante und Δy die Differenz der Objektabstände ist.

$$\Delta r = \frac{r'_2}{c_K} \Delta y \qquad [5.3.1]$$

Weiß man den maximale Bildradius r'_{max} und ist eine maximale Umklappung von Δr_{max} erlaubt, ergibt sich eine maximale Differenz der Objektabstände $\Delta y_{max.}$

$$\Delta y_{max} = \frac{c_K}{r'_{max}} \Delta r_{max} \qquad [5.3.2]$$

Abbildung 16 verdeutlicht den Sachverhalt noch einmal optisch:

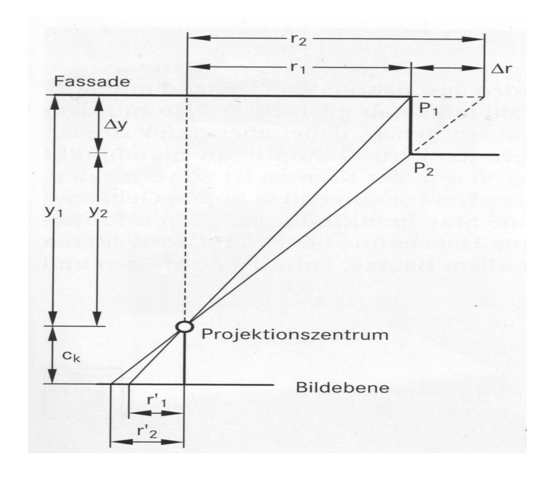


Abb.16: Fehlereinfluss von Tiefenunterschieden

5.4 Digitale Entzerrung

Zur digitalen Entzerrung werden in der Praxis meist die nicht-parametrischen Techniken verwendet, bei denen die Parameter der Aufnahmesituation nicht oder nur bedingt berücksichtigt werden. So ist die äußere Orientierung völlig irrelevant. Zur Genauigkeitssteigerung kann jedoch die innere Orientierung (nur die Verzeichnung!) heran gezogen werden. Darüber hinaus gibt es die parametrische Entzerrung, die das

Kennen der Parameter der Aufnahme (äußere, innere Orientierung) voraussetzt. In der weiteren Betrachtung wird nicht auf sie eingegangen, da sie nicht Bestandteil dieser Arbeit ist!

5.4.1 Projektive Transformation

Für die nicht-parametrische Entzerrungstechnik sind mindestens vier zweidimensionale Passpunkte auf der Entzerrungsebene nötig. Die acht Freiheitsgrade werden für die drei Translationen, drei Rotationen und zwei Maßstabsänderungen in X und Y benötigt.

Da im Vorfeld meist nur dreidimensionale Passpunkte aus der Aufnahme vorliegen, muss vor der projektiven Transformation eine Entzerrungsebene im übergeordneten Koordinatensystem definiert werden. Hat man mehr als 3 Passpunkte kann eine Spur der ausgleichenden Vertikalebene durch lineare Regression berechnet werden, und man erhält Abweichungen der einzelnen Punkte aus der Bezugsebene als Tiefe T.

Im nächsten Schritt werden die Transformationsparameter (b_{ii}) zwischen den so berechneten ebenen Soll-Koordinaten und den gemessen Pixelkoordinaten bestimmt. Diese Berechnung wird iterativ mit der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt.

Die Formeln der projektiven Transformation lauten:

$$X'' = \frac{b_{11} \cdot X' + b_{12} \cdot Y' + b_{13}}{b_{31} \cdot X' + b_{32} \cdot Y' + 1} \qquad Y'' = \frac{b_{21} \cdot X' + b_{22} \cdot Y' + b_{23}}{b_{31} \cdot X' + b_{32} \cdot Y' + 1} \qquad [5.4.1.1]$$

Werden gemessene Pixelkoordinaten in diese Formeln eingesetzt, können transformierte Koordinaten berechnet werden. Deren Differenz zu den Sollkoordinaten nennt man Residuen oder Restklaffungen.

5.5 Mosaikbildung

Unter Mosaikbildung versteht man die Montage mehrerer Einzelbilder zu einem gemeinsamen Bild. Um ein homogenes Gesamtbild zu erhalten ist es erforderlich, die einzelnen Ausschnitte (Mosaike) sowohl **geometrisch** als auch **radiometrisch** zu korrigieren. Dabei müssen z.B. Randprobleme eliminiert und unterschiedliche Farb- und Helligkeitsdarstellungen in den Überlappungszonen der einzelnen Bilder angepasst werden.

Die **geometrische** Mosaikbildung dient dazu, zwei oder mehrere Bilder auf einer gemeinsamen Bezugsfläche geometrisch zusammenzufügen. Dies kann auf zwei unterschiedlichen Wegen realisiert werden. Erstens mit der Einzelbildentzerrung und folgender Montage jener, oder zweitens mit der direkten gemeinsamen Entzerrung aller Bilder über Pass- und Verknüpfungspunkte. Der Vorgang der Einzelbildentzerrung wird durch Standpunktwahl bei der Aufnahme und Entzerrungsfehler erschwert, so dass es zu Sprüngen entlang der Montagekanten kommen kann.

Die **radiometrische** Mosaikbildung beschäftigt sich mit den Helligkeits-, Kontrast- und Farbunterschieden der Bilder. Jene werden durch das Aufnahmesystem selber und durch unterschiedliche Lichtverhältnisse (Schatten, abweichende Aufnahmezeitpunkte usw.) während der Aufnahme beeinflusst. Für den radiometrischen Anpassungsprozess stehen eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. So kann man mit Hilfe von einer Trennlinie ein gewichtetes Mittel der Grauwerte in der Überlappungszone zweier Bilder berechnen lassen. Mit Hilfe von Histogrammen kann auch eine interaktive Anpassung der Grauwerte benachbarter Szenen erfolgen. Mit der automatischen Histogrammanpassung ist von den Softwareentwicklern die unkomplizierteste Möglichkeit der radiometrischen Korrektur geschaffen worden.

6. Software

Um die gestellte Aufgabe dieser Diplomarbeit zu lösen, wurde auf eine Vielzahl von Anwendungsprogrammen zurückgegriffen. Diese werden folgend aufgezählt und kurz beschrieben.

6.1 AutoCad 2007

AutoCad 2007 ist ein CAD-Programm der Firma AutoDesk, wobei es sich hier um die aktuellste Version handelt. Es ist ein vektororientiertes Grafikprogramm, deren raumbezogene Objektbeschreibungen im Wesentlichen auf die graphischen Grundelemente Punkt und Linie zurückzuführen sind. Die Vorteile der Vektordaten liegen im Allgemeinen in der geringen Datenmenge, schnellen Rechenzeit und den verschiedenen Änderungsmöglichkeiten. Durch die Möglichkeit der freien Layergestaltung ist ein übersichtliches Arbeiten realisierbar, welches besonders im Zusammenhang mit der Modellierung eines 3D-Drahtgittermodells unabdingbar ist.

6.2 PhoToPlan

PhoToPlan ist eine AutoCAD-Applikation für die photogrammetrische Einzelbildauswertung. Man verwendet PhoToPlan zur maßstabsgerechten Entzerrung digitaler Photographien, Karten und Pläne sowie deren nachfolgende Interpretation und Auswertung. Mit PhoToPlan kann man Fassadenaufnahmen, Bilder von Wand- und Deckenmalereien oder Fußböden bearbeiten, aber auch altes Karten- und Planmaterial wieder in eine maßstäbliche Form bringen. Die Ergebnisse der verschiedenen Entzerrungen mit PhoToPlan sind maßstäbliche Bildpläne, die photographische Zustandsdokumentation mit exakter geometrischer Information verbinden.
[Handbuch PhoToPlan]

6.3 Rhinoceros

Rhino ist ein Programm zum Modellieren von 3D-NURBS-Kurven (**N**icht-**U**niforme **R**ationale **B**-**S**pline), Flächen und Volumenkörpern. Es ermöglicht den Anwender jede beliebige Form eines Körpers genau zu modellieren und somit 3D Modelle zu entwerfen und zu erzeugen. Rhino ist sehr benutzerfreundlich, da es eine schnelle Freiformmodellierung ermöglicht und verschiedene Schnittstellen zu anderen Programmen zur Verfügung stellt.

6.4 Adope Photoshop 7.0

Dieses Programm eignet sich zur Bildbearbeitung und –optimierung, indem es die Eigenschaften der Rasterdaten von digitalen Bildern ändert. Folgende Werkzeuge sind für die Bearbeitung der Bilder von großem Nutzen gewesen. **Zuschneiden** der Bilder, **Tonwertkorrekturen** (Kontrast, Helligkeit, Farbe) und **digitale Filtermethoden** zur Schärfung des Bildes und Herausarbeitung von Details.

6.5 Pictran

Das Programm Pictran Relaise 3 der Firma Technet ist in zwei Teilprogramme gegliedert. Während sich Pictran-B hauptsächlich der Bündeltriangulation widmet, wird in Pictran-D die 2D/3D-Auswertung abgehandelt. Da es in dieser Arbeit nur zur Anwendung von Pictran-B kam, wird auf eine Erklärung von Pictran-D verzichtet.

Pictran-B dient zur kombinierten Ausgleichung von photogrammetrischen und geodätischen Messungen. Dabei werden die Unbekannten der äußeren Orientierung aller an der Ausgleichung beteiligten Bilder, die innere Orientierung der benutzten Kamera und die dreidimensionalen Koordinaten der unbekannten Objektpunkte berechnet. Dazu besteht die Möglichkeit verschiedene Messungselemente, wie z.B. Strecken oder Passpunktkoordinaten, mit einzubeziehen. Als zusätzliche Unbekannte können unter anderem Radialverzeichnungsfehler, Maßstabsparameter oder Ebenen-parameter durch die Bündelblockausgleichung mit berechnet werden.

6.6 BETAN/NEPTAN

Bei dem Programm handelt es sich um eine Ausgleichungssoftware der Firma Technet. Es gliedert sich in die drei Hauptbereiche.

1. BETAN (**Be**rechnung von **Ta**chymeter**n**etzen) kann man als eine terrestrische Voranalyse verstehen. Hier werden Messdaten analysiert und es erfolgen topologische Netzbildung, Näherungskoordinatenberechnung und Suche grober Fehler, sowie das Berechnen polarer „Anhänger“ von Einzelpunkten. Dieses System liefert Qualitätshinweise und hilft grobe Fehler aufzudecken. Darüber können Maßnahmen zu deren Beseitigung vorgenommen werden.

Die Einzelprogramme (Module) der terrestrischen Voranalyse in BETAN werden sequentiell (außer BTNAP) wie folgt durchlaufen:

- **BTNAP** **:** Vorprüfung und Filterung von Datensätzen
- **BETRED** **:** Reduktion von Einzelmessungen
- **BETMIT** **:** Mittelung der Beobachtungen (Stationsausgleichung)
- **BETNET** **:** Topologische Netzbildung
- **BETHOE** **:** Berechnung ausgeglichener Koordinaten in der Höhe (Aufdeckung und Elimination grober Fehler)
- **BETNAE** **:** Näherungskoordinatenberechnung in der Lage (Aufdeckung und Elimination grober Fehler)
- **BETLAG** **:** Berechnung ausgeglichener Koordinaten in Lage (Aufdeckung und Elimination kleiner grober Fehler)
- **BETSPA** **:** Hilfsprogramm zu Einbindung von Spezialmessungen (Vorwärtsschnitte usw.)
- **BETPOL** **:** Berechnung polarer Anschlusspunkte
- **BETCHK** **:** Prüfung (geometrisch) auf identische Punkte
- **BETNEP** **:** Datenschnittstelle und Interface für NEPTAN (Erzeugung der Eingabedatei für NEPTAN)

In der Datei **BETAN.USE** existiert für jedes dieser Einzelprogramme ein Steuerparameterblock(z.B. BETLAG$, BETRED$ usw.), wobei diese auch für die Globalsteuerung von NEPTAN Gültigkeit haben. Sie können den jeweiligen Bedürfnis angepasst werden.

2. In **NEPTAN** erfolgt die eigentliche Ausgleichung mit der Hauptanalyse. Dieses Programm berechnet auf der Grundlage von den in Betan gewonnenen Näherungskoordinaten die ausgeglichenen Koordinaten. Die Ausgleichung kann wahlweise auf drei Arten durchgeführt werden:

- **Freie Ausgleichung:** Hier werden alle Punkte wie Neupunkte behandelt, und dienen nur der groben Lagerung der Messung in einem Koordinatensystem. Über die freie Ausgleichung wird untersucht, ob die Messdaten in sich frei von groben Fehlern sind. Nach der Beseitigung aller groben Fehler kann die Genauigkeit der Messung festgestellt werden.

- **Dynamische Ausgleichung:** Hier werden die Festpunkte neben den eigentlichen Messwerten wie Beobachtungen mit eingeführt und auf ihre Stabilität hin überprüft. Nach der Ausgleichung werden auch für die Festpunkte normierte Verbesserungen und mittlere Punktfehler ausgegeben. Anhand dieser kann die Güte des Festpunktfeldes beurteilt und Netzspannungen bzw. grob falsche Festpunkte aufgedeckt werden.

- **Feste Ausgleichung:** Hierbei erfolgt die Koordinatenberechnung der Neupunkte ausgehend von den Koordinaten der Festpunkte, welche zu diesem Zweck fest-gehalten werden. Die feste Ausgleichung dient der abschließenden Berechnung der Neupunkte.

Die Ergebnispräsentation der Ausgleichung erfolgt im Protokoll **NEPTAN.OUT**, hier befinden sich sowohl die ausgeglichenen Koordinaten, als auch die Kenngrößen der Zuverlässigkeit und Genauigkeit. (siehe 6.6.1)

3. NEPLAN zeichnet die Konfiguration des Netzverbandes und die Ergebnisse der statistischen Analyse aus NEPTAN. Je nach Anforderung können verschiedene Aspekte besonders hervorgehoben werden (z.B. Richtungen, horizontale Strecken, Fehler-ellipsen, Redundanzanteile, normierte Verbesserungen)

6.6.1 Instrumente der Ausgleichung

Der **Redundanzanteil EV** ist eine Kenngröße der inneren Zuverlässigkeit, ein Maß für die Kontrolliertheit der Beobachtung in der Ausgleichung. Der Redundanzanteil wird primär durch die Netzgeometrie bestimmt und lässt sich sekundär durch Gewichtung manipulieren. Hier die Kontrolliertheit der Beobachtung in %:

100%		voll kontrolliert
100%	- 40%	gut kontrolliert
40%	- 10%	kontrolliert
10%	- 1%	schlecht kontrolliert
1%	- 0%	nicht kontrolliert

Die Data-Snooping-Testgröße **normierte Verbesserung NV** nimmt eine herausragende Stellung bei der statischen Fehleranalyse ein. Laut Definition ist sie der Quotient aus Verbesserung und mittlerer Fehler der Verbesserung, was mathematisch dem mittleren Gewichtseinheitsfehler der Einzelbeobachtung entspricht. Als Einheitsgröße ermöglicht sie den direkten, objektiven Vergleich aller Beobachtungen unabhängig von ihrem Typ. Hieraus entstehen folgende Vertrauenskategorien:

		NV	<	2.5	kein grober Fehler erkennbar
2.5	<	NV	<	4.0	grober Fehler möglich
4.0	<	NV			grober Fehler sehr wahrscheinlich

Der **Sigma 0-Wert** gibt das Verhältnis der Standardabweichung a-posteriori (nach der Ausgleichung) zu der Standardabweichung a-priori (vor der Ausgleichung) an. Er sollte

in der Nähe von Eins liegen (0.7< $\sigma 0$ >1.3), was bedeutet, dass die im Vorfeld angenommene Fehlereinschätzung dem realen Ergebnis entspricht.

Die Analyse des geodätischen Netzes erfolgt auf der Basis von Zuverlässigkeit und Genauigkeit. Man unterteilt in innere und äußere Genauigkeit sowie in innere und äußere Zuverlässigkeit. Im Einzelnen:

- Innere Genauigkeit: **- MFV** Mittlerer Beobachtungsfehler vor der Ausgleichung [cm][cc]
- Äußere Genauigkeit: **- MX,MY** Mittlere Koordinatenfehler der Lage [m]
  - MZ Mittlerer Koordinatenfehler der Höhe [m]
  - MP Mittlerer Punktfehler [m]

- Innere Zuverlässigkeit: **- EV** Relativer Einfluss auf die Verbesserung, Redundanzanteil [%]
  - GRZW Grenzwert für nicht erkennbare Beobachtungsfehler [cm][cc]
  - GF Vermutliche Größe eines groben Beobachtungsfehlers [cm][cc]
- Äußere Zuverlässigkeit: **- EK** Verschiebung, wenn Beobachtung nicht teilnimmt [cm]
  - EF Einfluss auf eine Funktion
  - EGK Einfluss von GRZW auf die relative Lage

Alle hier beschriebenen Kenngrößen der Ausgleichung sollten in der NEPTAN.OUT-Datei genauestens begutachtet und richtig interpretiert werden!

PUNKT	ZIELPUNKT	BEOB	MFV (CM)	VERB (CM)	EV	GF (CM)	EK (CM)	NV	EF	GRZW (CM)	EGK (CM)
100	400	-0.4844	0.22	0.07	63.6	-0.11	-0.04	0.4	3.	1.06	0.39
100	500	-0.3760	0.22	0.21	68.2	-0.32	-0.10	1.2	3.	1.02	0.33
100	200	-0.3983	0.22	0.15	72.7	-0.21	-0.06	0.8	2.	0.99	0.27
200	500	0.0205	0.22	0.24	68.2	-0.35	-0.11	1.3	3.	1.02	0.33

Abb. 17: Auszug aus Neptan.out

7. Durchführung

In diesem Kapitel wird auf die im Feld durchgeführten tachymetrischen sowie fotogrammetrisch gebundenen Arbeiten eingegangen. Die Herausforderung lag darin, in den zur Verfügung stehenden 6 Tagen, alle benötigten Daten möglichst vollständig und ohne große Fehler zu sammeln, denn auf mögliche Lücken im Datenmaterial würde man in Deutschland nicht mehr reagieren können. Eine große Hilfe war dabei Klaus Kerkow, der die mir fehlenden Erfahrungswerte auszugleichen vermochte und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

7.1 Die Netzmessung

Die Netzmessung sowie Konfiguration der Netzpunkte sind im Allgemeinen von den Faktoren Wirtschaftlichkeit und Genauigkeitsforderung abhängig. Da keinerlei Genauigkeitsansprüche von externen Personen vorlagen, wurde selbst beschlossen der Genauigkeit nicht im übermäßigen Maße Aufmerksamkeit zu schenken, jedoch so viel, dass die Ergebnisse vermessungstechnischen Ansprüchen genügten.

Im ersten Schritt wurde begonnen, sich einen Überblick über das aufzunehmende Objekt in seiner Gesamtheit zu machen. Die günstigste Lage der Festpunkte ist von der Objektgeometrie und den Stationierungsmöglichkeiten (2-3 Anschlußpunkte) für die Aufnahme abhängig. Zur Erleichterung der noch folgenden Arbeiten wurde das lokale System in etwa rechtwinklig zu den Kirchenaußenwänden und entsprechend der ungefähren tatsächlichen Ost-West-Richtung angelegt. Die Vermarkung der Punkte erfolgte im Außenbereich durch ein Eisenrohr mit Kappe und im Inneren durch Messingnägel.

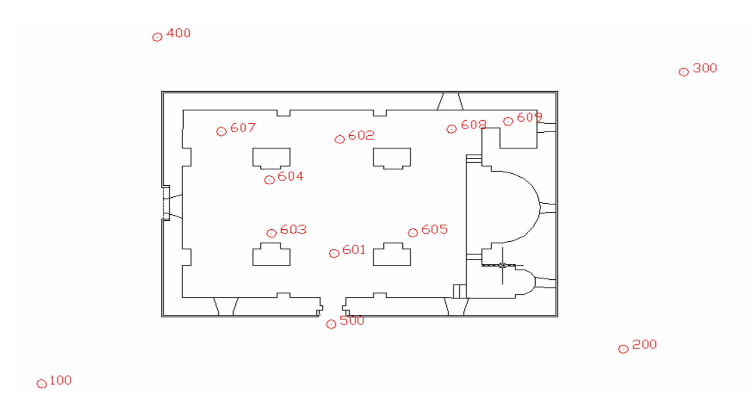


Abb.18: Netzübersicht

Die Richtungs- und Streckenmessungen wurden in zwei Lagen, aber nicht auf jeden möglichen Punkt durchgeführt. Es ist lediglich darauf geachtet worden, dass jeder Punkt zur Fehlerbetrachtung mindestens von zwei unterschiedlichen Standpunkten gemessen wurde. Zur weiteren Genauigkeitssteigerung ist ein Miniprisma zum Einsatz gekommen. Schon im Feld ist erkannt worden, dass die Richtungsmessungen vom Standpunkt 500 zum Zielpunkt 601 nicht kontrolliert sind, da keine unabhängige zweite Messung von einem anderen außerhalb der Kirche gelegenen Punkt möglich war. Um jedoch eine gewisse Netzstabilität zu erreichen, ist noch ein zweiter Punkt (602) von Außen (500) bestimmt worden. Dadurch war ein kontrollierter Übergang von den äußeren Netzpunkten zu den in der Kirche befindlichen Punkten gegeben. Der Punkt 609 ist nur ein polarer „Anhänger", was sich aber aufgrund der Geometrie der Kirche nicht vermeiden ließ.

7.2 Passpunktbestimmung

Die Passpunkte wurden für die Entzerrung und gegenseitige Orientierung der Fassadenfotos benötigt. Durch die schlechte Aufnahmebedingung der Bilder (nur 5-6m Abstand zur Fassade) war eine Vielzahl von ihnen nötig, mussten doch mindestens 4 auf jedem Foto zu sehen sein. So wurden 15 – 30 Passpunkte, pro Fassade so angeklebt, dass sie diese vollständig abdeckten und zu dem gleichmäßig verteilt waren.



Abb.19: Anbringen und Aufmessen der Passpunkte

Für die Messung der Passpunkte war das reflektorlose Messen sehr geeignet, jedoch war darauf zu achten, dass der Aufnahmewinkel nicht zu flach wurde, da sonst die unter 2.5.1 besprochenen Fehler zu groß werden. Zur Genauigkeitssteigerung wurden alle

Passmarken in zwei Lagen und unabhängig von einem zweiten Standpunkt aufgenommen.

7.3 Durchführung der Polaraufnahme

Der erste Schritt bestand in der Grundrissaufnahme der Kirche. Im Außenbereich wurde dafür das Miniprisma verwendet und im Inneren auf die reflektorlose Aufnahme zurückgegriffen. Schwierigkeiten machten dabei abgeplatztes Mauerwerk und abgebrochene Kanten. Zur Lösung dieses Problems wurde versucht die Lage der geschädigten Kanten zu simulieren. Dabei kam der Zollstock oder Feldbuchrahmen zur Verlängerung der jeweiligen Fluchtlinien zum Einsatz.

Für das Aufmass der Wände, Fenster, Bögen, Decke, Altar und anderer gebäudebeschreibender Punkte kam nur die reflektorlose Messung in Frage, da Höhenunterschiede von bis zu 7m nicht anders zu überwinden waren, und es für die geforderte Genauigkeit auch ausreichend war (siehe 2.6.1). Da einige Punkte nicht direkt angezielt werden konnten, behalf man sich mit der im Gerät integrierten Möglichkeit der Exzentrumsmessung, bei der die zur Ziellinie orthogonalen, horizontalen oder vertikalen Abstandmaße zur eigentlichen Punktlage berücksichtigt werden.

Eine weitere sinnvolle Funktionsweise des TCRP 1202 ist die getrennte Abspeicherung von Distanz- und Richtungsmessungen. Der Einsatz dieser Bedienungsmöglichkeit war immer dann von Nöten, wenn der unter 2.5.1 besprochene Einfluss von Zielgeometrie und Einfallswinkel ungenaue Streckenmessungen verursachte. In diesem Fall wurde erst auf nahe liegenden Oberflächen oder mit Hilfe des Feldbuchrahmen die Entfernungsmessung ausgelöst und „vorgemerkt“. Danach erfolgte das Eindrehen des Horizontalkreises auf die Richtung des Punktes und das gleichzeitige Speichern beider Messwerte.

Die richtige Standpunktwahl für die Aufnahme wurde durch die Möglichkeiten der freien Stationierung begünstigt, stellte sich jedoch als nicht trivial heraus. So war es zur besseren Kontrolle der Stationierung erstrebenswert, Sichten zu mindestens drei Festpunkte zu haben. Außerdem sollte so viel wie möglich pro Aufstellung erfasst werden können, da sonst der Arbeitsaufwand erhöht, und das ohnehin schon anspruchsvolle Führen des Feldbuches zusätzlich erschwert wurde.

Das Entwerfen der Feldrisse stellte sich als schwierigste Aufgabe heraus, da zum Zeichnen von 3D Perspektiven ein hohes Maß an zeichnerischen Fähigkeiten und Orientierungsqualitäten nötig ist. So kostete es meist einige Zeit bis mit der Aufnahme begonnen werden konnte bzw. bis die Arbeiten aus einem Standpunkt beendet waren. Insgesamt entstanden 22 Feldbücher, die ca. 1000 Punkte zum Inhalt hatten.

7.4 Fotoarbeiten

Da als Endprodukt der Fotoaufnahmen „nur“ eine zweidimensionale Auswertung erfolgen sollte, musste auf nicht so viele Faktoren für eine optimale Bildgewinnung eingegangen werden. Optimal wären maximale Abstände mit möglichst langer Brennweite gewesen, um die Umklappeffekte so gering wie möglich zu halten.

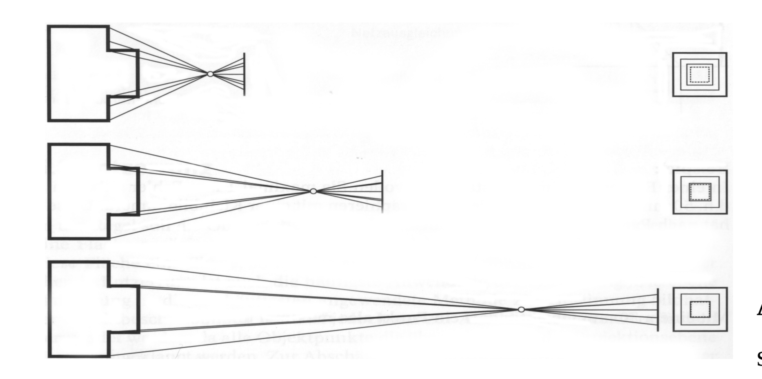


Abb.20: Umklappeffekte bei unterschiedlichen Objektiven

Da die Aufnahmebedingungen jedoch nur Objektentfernungen von fünf bis sechs Metern erlaubten (außer an der Ostfassade), konnte nur versucht werden mit dem Teleobjekt mit der längsten Brennweite so weit wie möglich von der Fassade entfernt zu sein und dafür zu sorgen, dass das gesamte Bild vollständig genutzt wird. Zum großen Teil kam das 30er Objektiv zum Einsatz, jedoch war es damit nicht immer möglich die Mindestanzahl von 4 Passpunkten auf ein Bild zu bekommen. Deshalb musste mitunter auch mit dem 20er Objektiv gearbeitet werden.

Um keine großen Verzerrungen auf den Bildern zu provozieren, wurde versucht das Neigen der Kamera zu vermeiden. Da keine Hilfsmittel, wie Hebebühne etc. zur Verfügung standen, konnte dies nicht in vollem Maße realisiert werden.

8. Auswertung

Die folgenden Seiten beziehen sich auf die Auswertung der im Feld gewonnen Daten. Da es sich um den aufwändigsten Teil dieser Diplomarbeit handelt, werden die Bearbeitungsschritte genauer und tiefgreifender erörtert. Als Endresultate sollen die modellierte Kirche und die Fassadenpläne der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen.

8.1 Netzausgleichung

Die Ausgleichung des örtlichen Netzes erfolgte mit dem Programm BETAN/NEPTAN. Dazu mussten vorerst alle Messdaten entsprechend aufbereitet werden, um Betan eine **„BEO"-Datei** (Beobachtungen) übergeben zu können. Der Aufbau ist denkbar einfach. Abbildung 21 zeigt den Ausschnitt einer Beo-Datei auf Standpunkt 400, mit den Messungen zu den Punkten 300 und 100. (10…Standpunkt / 20…Zielpunkt)

	PKT	s(m)	HZ(gon)	z(gon)	h(m)
10.	400	0.000	0.000	0.000	1.5730
20.	300	27.629	108.0194	103.1504	0.1230
20.	100	21.773	221.1057	102.8253	0.1230
20.	100	21.773	21.1089	297.1677	0.1230
20.	300	27.630	308.0173	296.8431	0.1230

Abb.21: BEO-Datei

Da in dem Netz keine übergeordneten Koordinaten existieren, wurden zwei Punkte (100 und 200) dazu erhoben, das örtliche Netz grob zu „lagern". Punkt 100 stellte dabei den Koordinatenursprung dar. Punkt 200 erhielt die horizontale Streckendifferenz der beiden als Koordinatenunterschied in X-Richtung, sowie den Höhenunterschied der beiden Kippachsen zugewiesen. Die mit diesen Näherungskoordinaten bestückte Festpunktdatei **FESTPKT.BET** konnte nun ebenfalls geladen werden.

Als Letztes verlangt das Programm nach der **BETAN.USE**, in der die Steuerparameter für die terrestrische Voranalyse enthalten sind. Sie hat z.B. die vom Hersteller des Tachymeters angegebenen Standartabweichungen der Richtungs- und Streckenmessungen, Abbruchsschranken und Ausgleichungsart (3D und freies Netz) zum Inhalt.

Nun konnten die einzelnen Programmteile sequenziell durchlaufen werden, wobei keine Probleme auftraten, jedoch die Berechnungsprotokolle auf bestimmte Kriterien zu überprüfen sind.

BETRED: Gibt es unzulässige Differenzen bei Einzelbeobachtungen?
Wurden Einzelbeobachtungseliminationen vorgenommen?
Tauchen undurchführbare Reduktionen auf?

BETMIT: Unzulässige Differenzen bei Satzvereinigung?

BETNET: Sind genügend Beobachtungen und Festpunkte zur Netzbildung vorhanden? Weisen die Lagekoordinaten der zwei definierten Festpunkte minimale Koordinatenunterschiede auf?

BETNAE: Wurden Beobachtungen eliminiert? Lassen grobe Fehler und Punktverwechslungen Schlüsse auf mögliche Korrekturen zu? Gibt es unzulässige Differenzen zwischen beobachteten und gerechneten Richtungen oder Strecken?

BETHOE/BETLAG: Wurden Beobachtungen eliminiert? Lassen grobe Fehler und Punktverwechslungen Schlüsse auf mögliche Korrekturen zu? Gibt es unzulässige Differenzen zwischen beobachteten und gerechneten Richtungen oder Strecken?

Die aufgrund der topologischen Netzbildung entstandenen Näherungskoordinaten waren in der BETNAE.OUT einzusehen. Eventuell aufgetretene Fehler werden in der BETNAE.ERR dokumentiert und können in der BETAN.INP berichtigt werden.

Im nächsten Schritt wurde die Hauptanalyse mit NEPTAN durchgeführt, diese sollte den Nachweis der Zuverlässigkeit der Beobachtungen und der Genauigkeit der Netzpunkte erbringen. NEPTAN rechnete die Ausgleichung hier ohne Programmabbruch durch und endete programmgemäß mit „NEPTAN FINISHED O.K.“. Bei einer fehlerhaften Berechnung wäre stattdessen „WARNING NEPTAN“ erschienen.

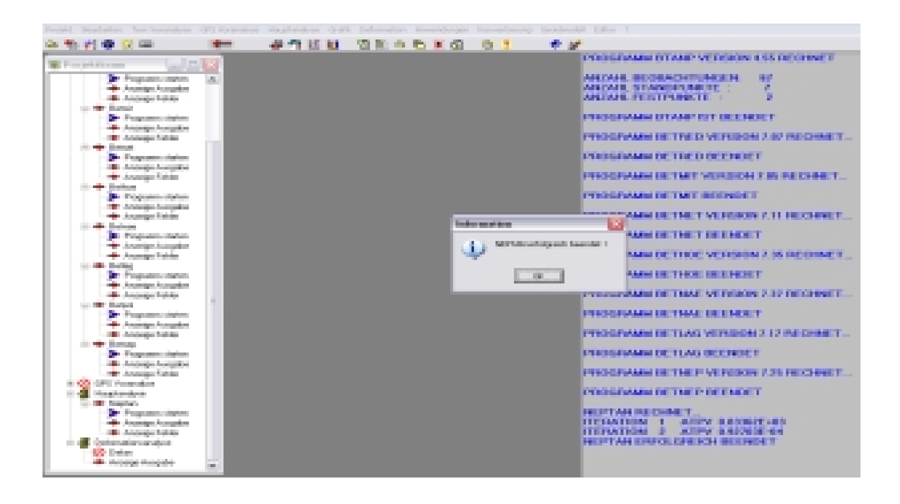


Abb. 22: Programmdurchlauf BETAN/NEPTAN

Die Ausgleichungsergebnisse sind dann in der Protokolldatei NEPTAN.OUT einzusehen, wobei hier die einzelnen Beobachtungstabellen aufmerksam zu beurteilen sind. Besonderes Augenmerk ist dann auf die Spalte der normierten Verbesserungen (NV) und der Redundanzanteile (EV) zu richten. Da grobe Fehler (NV > 2.5) hier mit „**“ ausgewiesen sind, ist ein leichtes Auffinden möglich. Die größten normierten Verbesserungen sind in der NEPTAN.ERR Protokolldatei nach Größe sortiert einzusehen. Insgesamt 3 Beobachtungen wurden aufgrund der Annahme grober Fehler (NV >80) aus der weiteren Berechnung ausgeschlossen.

Zudem muss überprüft werden, ob die angenommene Standardabweichung der Gewichtseinheit (SIGMA 0) durch die Ausgleichung bestätigt wurde. Programmintern ist die angenommene Standardabweichung der Gewichtseinheit zunächst auf 1 gesetzt. Bei der nach Eliminierung der groben Fehler vollzogenen Netzausgleichung lag der SIGMA-Wert für die Richtungsbeobachtungen bei 1.09, für die Strecken bei 1.46 und für die Höhendifferenz bei 20.32. Demnach ist bei den Strecken und im hohen Maße bei den Höhendifferenzen die vorab geschätzte Genauigkeit zu optimistisch gewählt worden. Durch verändern der mittleren Fehler der Strecken- und Höhengenauigkeit in der Steuerdatei (BETLAG$) wurden letztendlich zufrieden stellende Sigma-Werte für die Beobachtungsgruppen erreicht (Abb.23).

	INSGESAMT	RICHTUNGEN	AZIMUT	HORI. STR.	SCHR. STR.	SKAL. STR.
REDUNDANZ	0.45000E+02	0.11278E+02	0.00000E+00	0.16722E+02	0.00000E+00	0.00000E+00
SIGMA	0.87890E+00	0.10894E+01	0.10000E+01	0.79408E+00	0.10000E+01	0.10000E+01
VVP	0.34761E+02	0.13386E+02	0.00000E+00	0.10544E+02	0.00000E+00	0.00000E+00

	ZENITDIST.	HOEHENDIFF.	BEW. FESTP.	KOOR. DIFF.	ABSTICHE	LOKALE KOOR
REDUNDANZ	0.00000E+00	0.17000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
SIGMA	0.10000E+01	0.79820E+00	0.10000E+01	0.10000E+01	0.10000E+01	0.10000E+01
VVP	0.00000E+00	0.10831E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

ABRUCHSCHRANKE NACH DER 3. ITERATION ERREICHT

SIGMA 0 = 0.87890 REDUNDANZ= 45

Abb.23: Zusammenfassung statistische Analyse

Dieses Gesamtergebnis liefert aber noch keine qualitative Aussage zu Zuverlässigkeit und Kontrolliertheit aller Beobachtungen und Punktbestimmungen. Deshalb müssen die Tabellen der Beobachtungen nochmals auf normierte Verbesserungen mit Werten über 2.5 durchsucht werden. Da aber keine weiteren groben Fehler gefunden wurden, konnte von einer gelungenen Ausgleichung ausgegangen werden.

Jedoch bei näherer Betrachtung des Ausgabeprotokolls war zu erkennen, dass bei den Höhenunterschieden eine Messung zum Punkt 608 aufgrund eines groben Fehlers vom Standpunkt 602 herausgenommen wurde (MFV = 9999). Da nur noch eine verbleibende Beobachtung vom Punkt 608 vorhanden war, ist die Höhe vom Standpunkt 608 unkontrolliert (Redundanz = 0) und somit ohne weitere Fehlerangaben.

Der letzte Schritt obliegt der Kontrolle der Neupunktsgenauigkeiten über die mittleren Punktfehler, welche gemeinsam mit den ausgeglichenen Koordinaten folgend in tabellarischer und graphischer Form zu sehen sind.

Pktnr.	Y (RECHTS)	X (HOCH)	Z (HOEHE)	PHI (GON)	A (CM)	B (CM)	MY (CM)	MX (CM)	MP (CM)	MZ (CM)
300	1034.8778	2016.4968	99.7916	128.655	0.050	0.035	0.047	0.038	0.061	0.134
400	1007.5061	2020.0052	99.7083	279.666	0.051	0.038	0.050	0.040	0.064	0.134
500	1015.7061	2002.2451	99.8181	293.218	0.023	0.020	0.023	0.020	0.030	0.073
601	1016.0803	2006.5019	99.4657	289.808	0.023	0.020	0.022	0.020	0.030	0.073
602	1016.7343	2013.3586	99.4533	110.810	0.035	0.020	0.034	0.021	0.040	0.077
603	1012.8671	2007.8832	99.5420	194.035	0.041	0.038	0.038	0.041	0.056	0.139
604	1012.9323	2011.0979	99.5487	254.737	0.044	0.038	0.042	0.041	0.058	0.139
605	1020.2685	2007.5138	99.5589	209.196	0.045	0.038	0.038	0.045	0.059	0.139
607	1010.5717	2014.1459	99.5650	255.677	0.057	0.038	0.050	0.047	0.069	0.139
608	1022.6190	2013.6608	99.5203	135.305	0.068	0.046	0.063	0.053	0.082	0.191
100	1000.3945	1999.4487	100.1920	224.964	0.035	0.030	0.031	0.034	0.046	0.105
200	1030.8724	2000.0000	99.7952	147.325	0.033	0.027	0.030	0.030	0.043	0.105

Abb.24: Ausgeglichene Koordinaten der Neupunkte

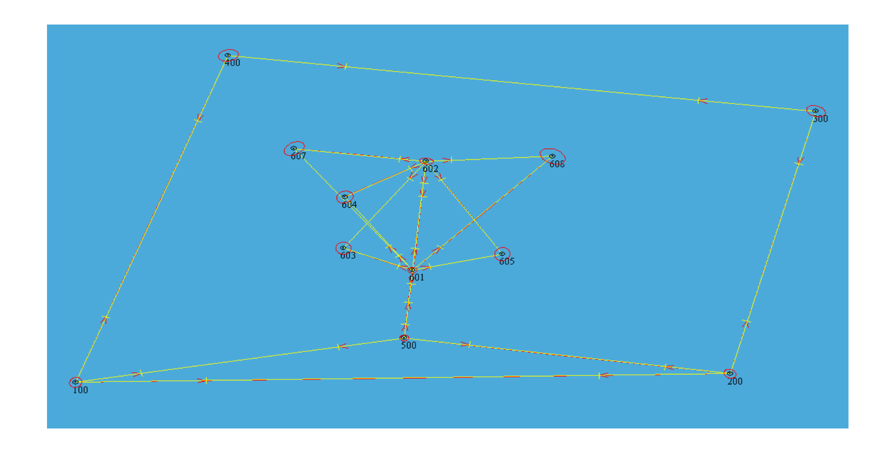


Abb.25: Fehlerellipsen in Neplan

Zum Schluss lässt sich noch anmerken, dass die Punkte 609 und 606 nicht mit in die Berechnung eingeflossen sind, da im Steuerblock BETNET$ der BETAN.USE-Steuerdatei nur die Ausgleichung mehrfach angezielter Punkte eingestellt wurde. Sie sind also nur polare „Anhänger“ und dementsprechend nicht vertrauenswürdig.

8.2 Erstellen des Drahtmodells

Die erste sich stellende Aufgabe war der geeignete Import von insgesamt zehn Punktdateien in AutoCad. Die Lösung war ein von Herrn Prof. Dr. Ing. Schwenkel geschriebenes Programm zur Umwandlung von „Dat-Dateien“ in Dxf-Files. Das Editieren der gesamten Koordinaten zu einer „Dat-Datei“ war zwar sehr zeitintentiv, dafür wurden aber alle Punkte mit entsprechender Kennung (Pktnr.) ohne Probleme in die AutoCad-Zeichnung (.dwg) geladen.

Um das Konstruieren zu erleichtern, erfolgte eine Zuweisung aller Punkte in charakteristische Layer. Es entstanden z.B. Zwischenebenen für Fenster, Wände, Treppen, Decken, Grundriss etc. Nun konnte man durch das Ein- und Ausschalten der einzelnen Layer gezielte Punktwolken mit gleicher Objektbeschreibung bearbeiten. Da die Punkte zusammen mit den Punktnummern einen Block bilden, konnte auch die Punktnummerngröße und Lage der Punktnummer zum Punkt (nah, fern, rechts, links) zur besseren Bearbeitung z.B. bei näher liegenden Punktwolken schnell und unkompliziert geändert werden.

Absolut logisch und sicherlich nur sinnvoll ist die Konstruktion des Grundrisses als ersten Arbeitschritt. Da sich alles Weitere auf diesen aufbaut, ist er richtungweisend für die weitere Bearbeitung. Aus der Tatsache, dass als Endprodukt ein gut anzuschauendes Modell entstehen sollte, mussten hier schon einige Punkte zum Erhalt der Rechtwinkligkeit und Fluchtlinien neu konstruiert werden. Dies verlangte dem Bearbeiter eine Menge Sachverstand und Fingerspitzengefühl ab, sollte doch das „Wesen“ der Kirche erhalten bleiben.

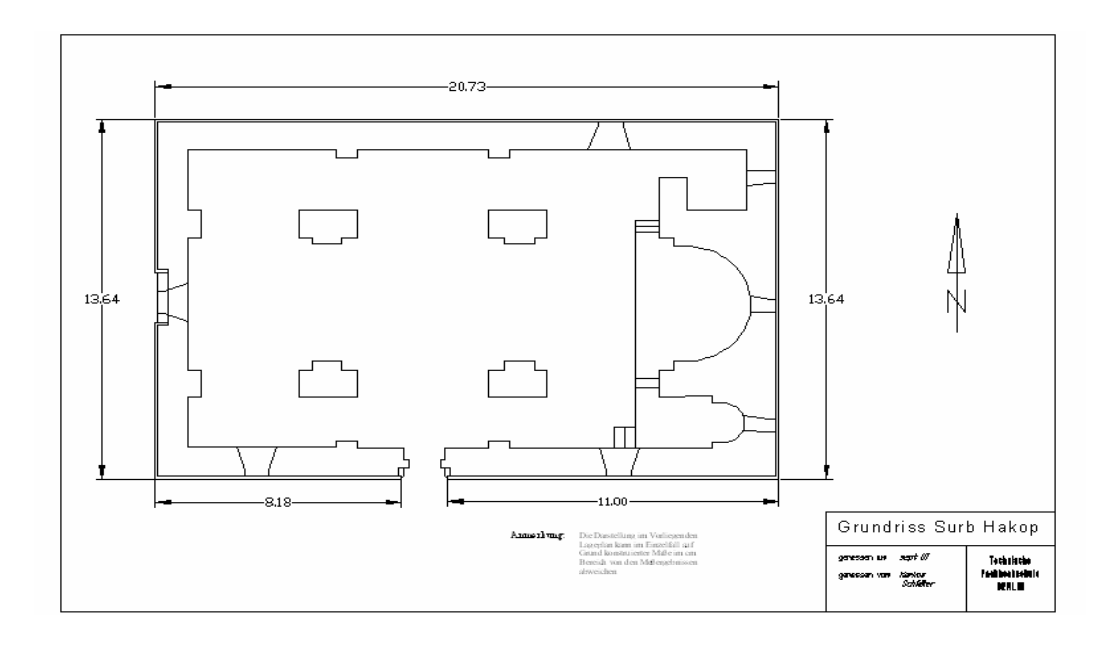


Abb. 26: Grundriss Surb Hakop

Die nun folgende Drahtmodellerstellung des Gebäudes war eine sehr anspruchsvolle und zeitaufwendige Aufgabe, da nicht einfach nur alle gemessenen Punkte mit Linien verbunden wurden, sondern stets versucht worden ist, die bestmögliche Gebäudegeometrie und -struktur aus den vorhandenen Punkten abzuleiten. Dazu mussten die eigentlichen Konstruktionsgrundlagen zum Bau der Kirche begriffen werden, um abwägen zu können, was Messungenauigkeiten sind oder was wirklich „falsch“ gebaut, oder schlecht beim Bau des Gebäudes umgesetzt worden ist. Beispielsweise besitzt jede Säule aufgrund ungenauer Bauweise ihre eigene Form, wurde aber vom Zeichner wenigstens rechtwinklig, in horizontaler wie vertikaler Richtung konstruiert.

Aufgrund dieser Tatsache lässt sich schon erahnen, dass eine Vielzahl von Punkten neu bestimmt werden musste, um ein nach außen ansprechendes Modell der Kirche zu erhalten. Im Zuge dessen wurden Punkte um bis zu 5cm „verschoben“. Umgesetzt werden konnte dies durch das Definieren eines Benutzerkoordinatensystems (BKS), in das die im Weltsystem (örtliches Netz) vorliegenden Punkte transformiert werden konnten. Damit war es möglich, rechtwinklige Koordinaten von einer definierten Linie abzusetzen oder Operationsebenen anzuzeigen und zu verwendet (3D).

Häufig benutzte Befehlsbuttons zur Erstellung des Drahtmodells seien hier kurz genannt und anschließend erläutert:

3DORBIT	Objekt im Raum drehen
ABSTAND	Räumlicher Abstand zwischen zwei Punkten
AUSRICHTEN	Objekt gleichzeitig verschieben, drehen, skalieren
BOGEN	Kreisbögen zeichnen
DEHNEN	Verlängern von Zeichnungsobjekten
LAYER	Layereigenschaften-Manager
OFANG	Objektfang
SCHIEBEN	Verschieben von Zeichnungsobjekten
SPIEGELN	Spiegeln von Zeichnungsobjekten
STUTZEN	Kürzen von Zeichnungsobjekten

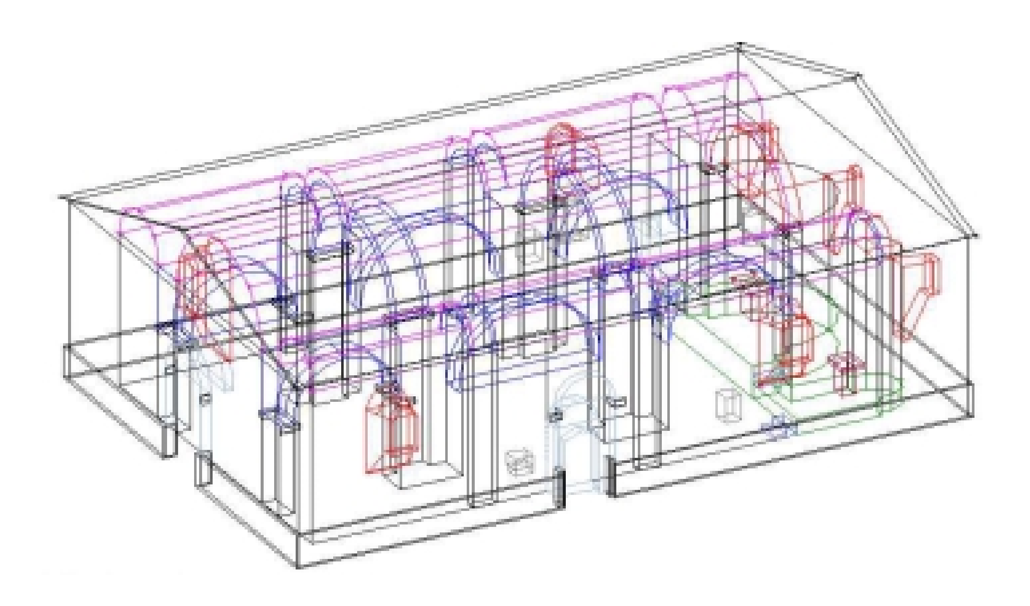


Abb.27: Drahtmodell der „Surb Hakop“

8.3 Modellieren der Kirche

Die fertige Gitternetzzeichnung im dwg-Format von AutoCAD wurde in Rhinoceros importiert und als eine 3dm.-Datei abgespeichert. Bei dem Import wurde das Koordinatensystem der Zeichnung beibehalten. Auch die Layerverwaltung in Rhinoceros entsprach der in AutoCAD. So konnten die bereits in AutoCad kreierten Ebenen erstellt, editiert, ausgeschaltet und zugeschaltet werden. Zusammen mit der überschaubaren und in gewisser Weiser AutoCad ähnlichen Oberfläche von Rhino, war ein flüssiger Übergang der Weiterverarbeitung möglich.

Zur Erstellung des Volumenmodells kamen jetzt die unter 4.4.1 und 4.4.2 angesprochenen Techniken zum Einsatz. Als Beispiel sei im Folgenden die Modellierung eines Fensters gezeigt, um einen Eindruck für die einzelnen Bearbeitungsschritte zu bekommen.

Der erste Schritt ist immer das Bilden von Flächen aus den Umringslinien des Drahtmodells. Günstig war hierbei, immer von innen nach außen zu zeichnen, um eine freie Sicht auf evtl. verdeckte Linien zu haben. Als Ergebnis liegt dann ein Flächenverband vor.

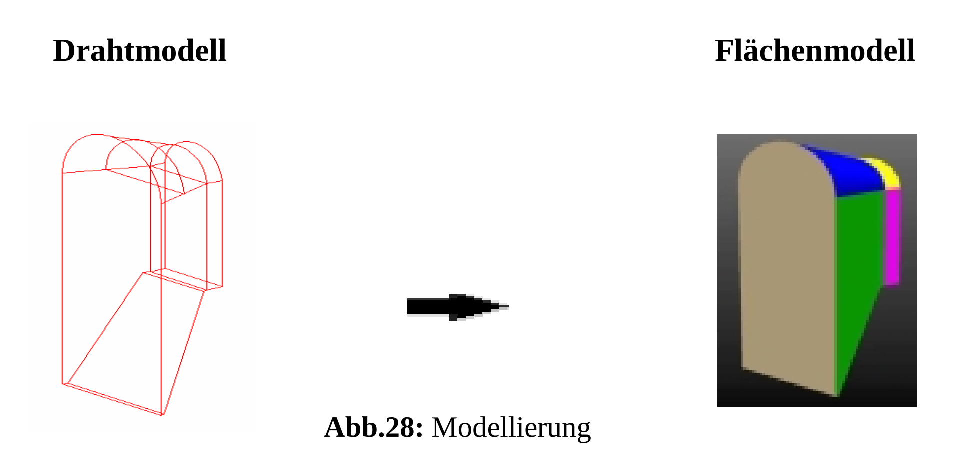


Abb.28: Modellierung

Mit der Erzeugung von solchen Randflächenmodellen hätte im Prinzip die gesamte Kirche modelliert werden können und wurde es auch zu einem großen Teil. Jedoch bietet diese Arbeitsweise keine Lösung für alle Probleme. Deshalb musste sich mitunter mit der „Construction Solid Geometry“ beholfen werden. Da diese komplexe Oberflächen und Körper benötigt, kam eine hilfreiche Funktion von Rhino zum Einsatz. So ist es möglich Flächenverbände, sofern sie ganz geschlossen sind, in Volumenkörper

umzuwandeln. Mit diesen können dann boolesche Operationen durchgeführt werden. Beispielsweise war man damit in der Lage die Fensteröffnungen in den Wänden zu realisieren. Dazu musste lediglich der erzeugte Volumenkörper Fenster vom Volumenobjekt Wand subtrahiert werden.

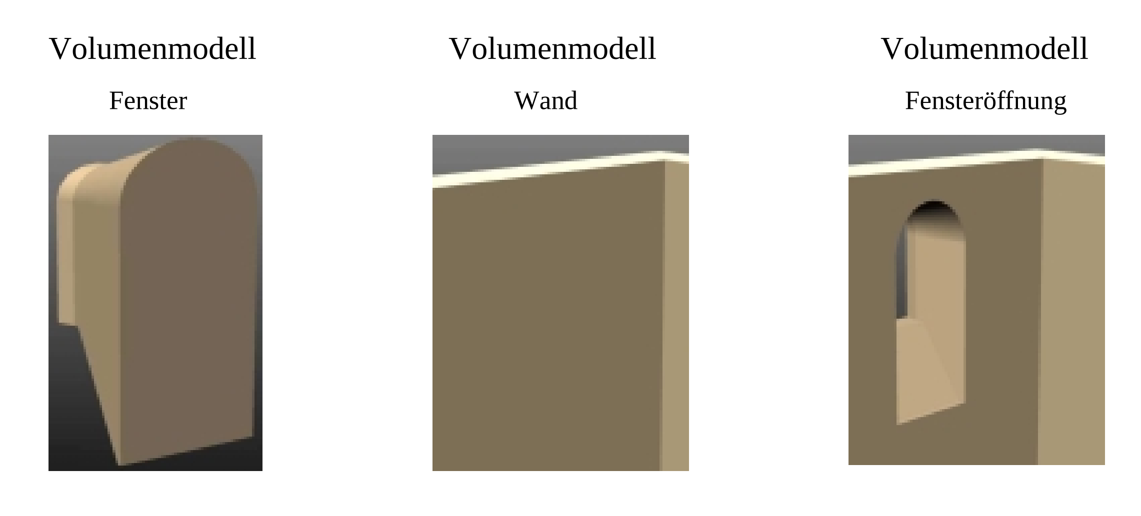


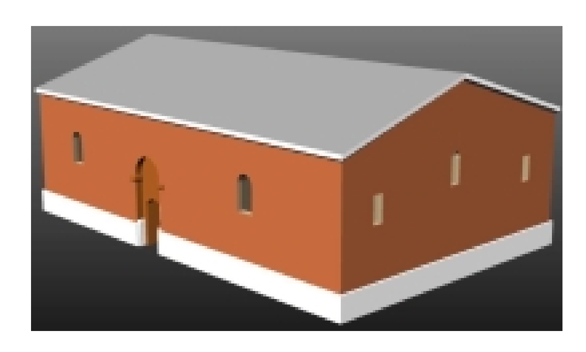
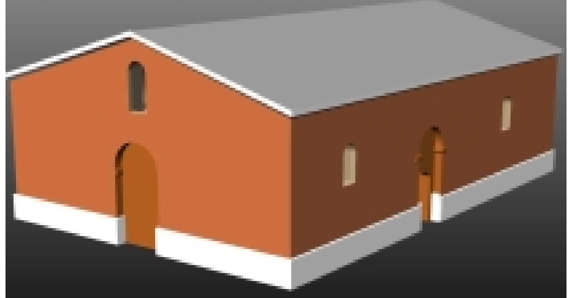
Abb.29: Boolesche Operation

Häufig benutzte Befehlsbuttons zur Erstellung des Volumenmodells seien hier kurz genannt und anschließend erläutert:

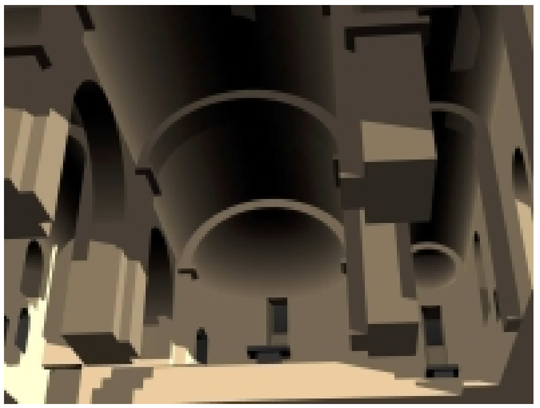
EDGESRF	Zeichnet Fläche nach Umrandungsangabe
EXPLODE	Löst Objektverbände in Ursprung auf
JOIN	Erstellen von Objektverbänden
BOOLESCHE DIFF.	Subtrahiert Volumen eines Objekts vom anderen
MIRROR	Spiegeln von Objekten
NETWORKSRF	Bildet Flächen aus Liniennetz
PROPERTIES	Objekteigenschaftsmanager
LOFT	Aufziehen einer Fläche an Leitkurve
ROTATE	Drehen von Objekten
TRIMM	Kürzen von Objekten

8.3.1 Bildergalerie

Ansichten von Außen (Render- Gouraud-Einstellung)

Ansichten von Innen (Render- Gouraud-Einstellung)

8.3.2 Texturen

In Rhino ist es möglich Bilder oder Bitmuster geometrischen Flächen zuzuweisen. Dadurch wird der realitätsnahe Eindruck verstärkt. Es können nur die Grafikformate JPEG, GIF oder TIFF genutzt werden. Das Pixelbild wird automatisch an die Oberfläche angepasst. Für die Texturen wird ein zweidimensionales Koordinatensystem mit den Koordinaten u und v verwendet. Das Intervall geht von 0 bis 1.

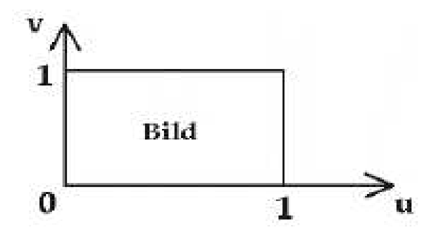
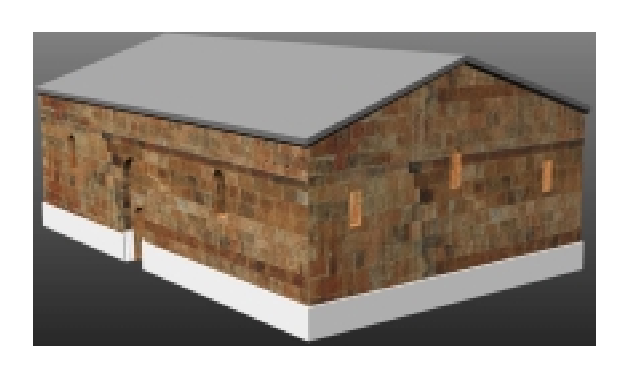


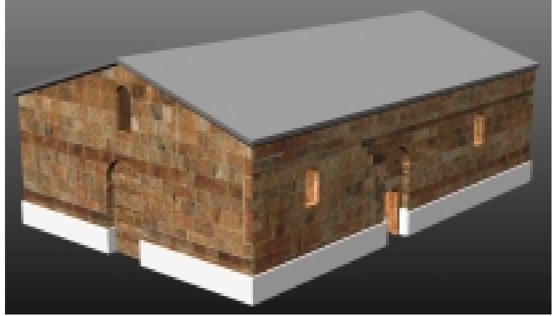
Abb.30: Bildkoordinatensystem

Die Oberfläche des geometrischen Objektes enthält ebenfalls ein 2D-Koordinaten-system. Diesmal mit den Koordinaten s und t. Aus den dreidimensionalen Koordinaten der Objektoberfläche werden s und t berechnet und 1:1 auf die Koordinaten u und v der Textur abgebildet. Für die anschauliche Darstellung der Kirche wurden allen Oberflächen wirklichkeitsnahe Texturen zugeordnet. Sie sind aber keineswegs realistisch oder maßstabsgetreu! Die im Innenbereich der Kirche befindlichen Schrift-tafeln und Symbole sind maßstäblich und entsprechen der Wirklichkeit. Sie wurden im Vorfeld entzerrt und auf ihren richtigen Platz „gemapped".

8.3.3 Bildergalerie

Ansichten von Außen (Rendermodus Photo Real)



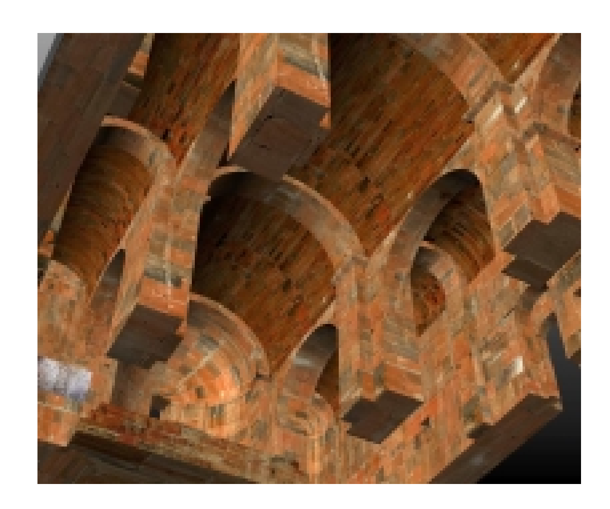


Ansichten von Innen (Rendermodus Photo Raytrace)









8.4 Bestimmen der Objektivverzeichnung

Für das Bestimmen der Verzeichnungswerte des 20mm und 35mm Objektiv, wurde mit dem Programm Pictran eine Kamerakalibrierung durchgeführt. Die eigentliche Anwendung der Software besteht in der äußeren Orientierung eines Bildverbandes (Rückwärtsschnitt) und die daraus resultierende Bestimmung von räumlichen Objektkoordinaten (Vorwärtsschnitt). Das heutzutage dafür angewendete rechnerische Verfahren ist die Bündelblockausgleichung. Sie hat das Ziel, die Aufnahmesituation der einzelnen Kameras bezogen auf das Objektkoordinatensystem zu rekonstruieren. Das Ausgleichungsprinzip besteht in dem Verschieben (3 Translationen) und dem Verdrehen (3 Rotationen) der Strahlenbündel aller Bilder, solange bis die best-möglichste Anordnung aller Bildstrahlen erreicht ist. Vorraussetzung für diesen iterativen Bearbeitungsprozess sind Messungen der Pass- und Verknüpfungspunkte. Die Daten der Inneren Orientierung sind also prinzipiell nur ein Nebenprodukt einer Bündelblockausgleichung!

Für die Kalibrierung wurde das Testfeld der TFh genutzt. Es besteht aus ungefähr 70 Passpunkten mit Objektkoordinaten, die eine Lagegenauigkeit von ± 0,26 mm und eine Höhengenauigkeit von ± 0,13mm aufweisen. Zur Verdichtung des Passpunktfeldes sind zusätzlich Verknüpfungspunkte aufgestellt.



Abb.31: Kalibrierungstestfeld

Bei der Aufnahme der 10 Bilder pro Objektiv war darauf zu achten, dass jeder Bereich eines Bildes mit Passpunkten abgedeckt ist, um gerade die zum Bildrand größer werdenden Verzeichnungswerte bestmöglich zu bestimmen. Dazu wurden von 5 verschiedenen Standpunkten 2 Fotos mit unterschiedlichen Drehwinkeln (90° Kantung) gemacht. Um einen günstigen Schnittwinkel der Kernstrahlen zu erreichen, sind unterschiedliche Aufnahmerichtungen und unterschiedliche Höhenstandpunkte realisiert worden.

Nach Importieren der Messbilder in das davor erstellte Projektverzeichnis, wurde eine Kameradatei angelegt, welche nur einen Näherungswert für die Kamerakonstante (Brennweite des Herstellers, hier 20mm bzw. 35mm)zum Inhalt hat. Die anderen Daten der inneren Orientierung gingen mit dem Wert 0 ein. Alle Werte wurden als <u>fest</u> deklariert. Die Ursache liegt darin begründet, dass die Bündelblockausgleichung als Kalibrierung durchgerechnet wurde. Hierbei ist die grundlegende Idee, dass die innere Orientierung der digitalen Bilddaten im Vorfeld (in PICTRAN-D!) nicht durchgeführt wird. Die Fehler des Kamerasystems werden somit in der Ausgleichung als unbekannt eingeführt und in ihrer vollen Größe ermittelt.

Nachdem Einladen der 3D-Passpunktkoordinaten in die Passpunktdatei (.ppt) mussten in jedem der 10 Bilder die Passpunkte entweder vollautomatisch, automatisch oder manuell angemessen werden. Die vollautomatische Punkterkennung erfolgt über einen begrenzt steuerbaren Suchalgorithmus im gesamten Bild. Da nur wenige Punkte erkannt worden sind, kam zu meist die automatische Punkterkennung zum Einsatz. Dabei sucht ein Algorithmus einen vorgebenden lokalen Bereich (Passpunkt) nach Korrelation mit der ausgewählten Suchmatrix. Der noch verbleibende Teil der Passpunkte musste schließlich manuell gemessen werden.

Die Bündelblockausgleichung als ein nicht lineares Ausgleichungsproblem benötigt Startwerte (Näherungswerte) für sämtliche Unbekannten. So werden im Kompaktmodus stufenweise folgende Programme durchlaufen.

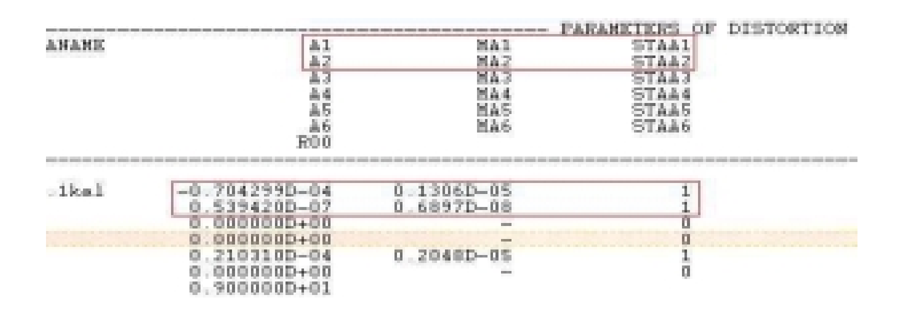
1. Bunkon: Überprüfung der Eingabedaten auf Konsistenz
2. Bunnae: erste Näherungswertberechnung
3. Bunob: zweite Näherungswertberechnung
4. Bunbil: Bündelblockausgleichung

Jedes Modul erzeugt dabei eine Errordatei (Bunbil.err) mit Fehlern und Programmhinweisen und eine Protokolldatei (Bunbil.out) mit weiteren Informationen zu den Berechnungen. Nach einem Berechnungsdurchlauf aller Module wird ein Meldungsfenster geöffnet, in dem die gröbsten Fehler (NV) und der SIGMA-Wert angegeben werden. Der Durchlauf bzw. die Neuberechnung wurde solange wiederholt, bis alle groben Fehler, wie Punktverwechslung oder zu ungenaues Anmessen der Kugeltargets, beseitigt waren.

Nachdem man sich sicher sein konnte, dass grobe „Ausreißer“ identifiziert und eliminiert worden waren, konnte mit der Kalibrierung begonnen werden. Dazu bekamen die Werte der inneren Orientierung einen großen mittleren Fehler zugewiesen und wurden frei gelagert. Somit hatten die Variablen einen Spielraum der Veränderung zur Verfügung. Beim erneuten Durchlauf der Kompaktanalyse, wurden dadurch die Werte der inneren Orientierung erstmals bestimmt.

Jetzt mussten die Ergebnisse noch auf Signifikants geprüft werden. Hierzu ist die Protokolldatei genauestens anzuschauen. So sollte der mittlere Fehler der Verbesserung eines Wertes am besten um 10% kleiner sein als seine Verbesserung (NV~1.1). Weiterhin ist die vom Programm auf 1 gesetzte, angenommene Standardabweichung der Gewichtseinheit der Beobachtungen nach der Ausgleichung zu bestätigen. Nur dann kann der Bildverband als stimmig und frei von groben Fehlern angesehen werden und hinreichend die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderung erfüllen. Da Sigma0 weit unter 0.7 lag, konnte die Genauigkeitsschätzung der Messung, die vorerst auf einen Pixel eingeschätzt wurde, auf 1/3 Pixel hoch gesetzt werden.

Abbildung 32 zeigt die Bunbil.out mit den Verzeichnungswerten des 20er Objektivs nach der Kalibrierung. Hervorgehoben sind die für die Ausarbeitung der Fassadenpläne benötigten Werte der radialsymmetrischen Verzeichnung.



PARAMETERS OF DISTORTION

ANAME	A1	MA1	STAA1
	A2	MA2	STAA2
	A3	MA3	STAA3
	A4	MA4	STAA4
	A5	MA5	STAA5
	A6	MA6	STAA6
	R00		
1kal	-0.704299D-04	0.1306D-05	1
	0.539420D-07	0.6897D-08	1
	0.000000D+00	-	0
	0.000000D+00	-	0
	0.210310D-04	0.2048D-05	1
	0.000000D+00	-	0
	0.900000D+01		

Abb.32: Auszug aus der Protokolldatei Bunbil.out

8.5 Erstellen von Fassadenplänen aus digitalen Fotos

Um als Produkt eine maßstäbliche zeichnerische Darstellung einer Gebäudefront aus digitalen Fotos zu erhalten, ist eine Vielzahl von Arbeitsschritten notwendig. In diesem Kapitel wird im besonderen Maße auf die Photoentzerrung und die sich anschließende Mosaikbildung eingegangen.

Für die Weiterverarbeitung mussten die, aufgrund von ängstlicher Vorsicht entstandene hohe Anzahl von 150 Photos auf ihre Qualität geprüft und selektiert werden. Da die Rohdaten im nicht sehr kompatiblen NEF-Format vorlagen, wurden sie mit Hilfe der Stapelbearbeitung des Nikon-Capture-Editors in das 8 Bit TIFF-Format umgewandelt. Nach Einsehen aller Fotos war die Auswahl für die jeweiligen Fassaden getroffen. Die Ost- sowie Westfassade sollten auf der Grundlage von 9 bzw. 12 Bildern entstehen, und die Nord- und Südfassade aus jeweils 14 Photos zusammengesetzt werden. Um die Weiterverarbeitung zusätzlich zu erleichtern, wurden die mit höchster Auflösung geschossenen Bilder, um ein akzeptables Maß komprimiert (30MB TIFF auf 4MB JPG).

Um die Bilder radiometrisch zu optimieren wurden die Auto-Tonwertkorrekturen von Photoshop genutzt und gegebenenfalls Kontrast, Helligkeit und Farbe manuell verändert. Auch der grobe Zuschnitt erfolgte hierbei gleich.

8.5.1 Bildentzerrung mit PhoToPlan

Für die Bildentzerrung sind Referenzinformationen vom abgebildeten Objekt notwendig. Je nachdem, welcher Art diese Referenzdaten sind, unterscheidet man drei verschiedene Ansätze:

- Photoentzerrung nach Passpunkten (siehe 5.4)
- Kartenentzerrung nach Passpunkten (zum Ausgleich von Kartenverzug mit Gitternetz)
- Photoentzerrung nach Geometrie (Linien und Strecken als Referenzinformation)

Für das Projekt in dieser Diplomarbeit wurde die Photoentzerrung nach Passpunkten verwendet. Wie das Entzerrungsverfahren in PhoToPlan umgesetzt wurde, wird nun, Schritt für Schritt anhand eines praktischen Beispiels näher erläutert.

1. Passpunkte definieren

Die schon in Autocad importierten, tachymetrisch bestimmten Passpunkte müssen als solche definiert werden. Mit dem Befehl „PPNEU" können manuell, durch Eingabe der 3-D Koordinaten, oder automatisch durch „anklicken" in der Zeichnung, die Passpunkte deklariert werden.



Abb.33: Pulldown-Menü „PPNEU"

2. Entzerrungsebene definieren

Mit dem Befehl „PPUCSPP" kann man eine mittlere Entzerrungsebene durch eine Menge von Passpunkten legen. Da es sich um das Erstellen von Fassadenplänen handelte, definierte man immer eine vertikale Entzerrungsebene. Jene verläuft parallel zur z-Achse des Weltkoordinatensystems.

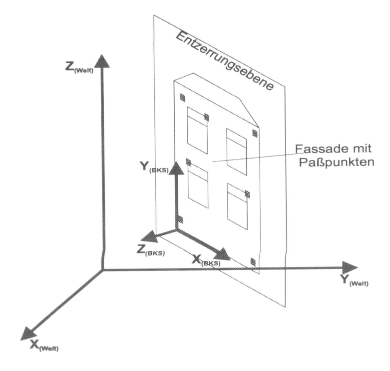


Abb.34: Vertikales BKS

Zur Berechnung der Entzerrungsebene ist somit die Angabe von zwei Passpunkten ausreichend. Der erste Punkt legt dabei den Koordinatenursprung fest und der zweite die positive Richtung der x-Achse des BKS, welche immer parallel zur xy-Ebene des WKS verläuft. Da alle verfügbaren Passpunkte zur Definition herangezogen wurden, konnte eine mittlere vertikale Ebene berechnet werden, welche die optimalste Entzerrungsebene widerspiegelt. Nun sind auch die Abweichungen einzelner Punkte aus der Ebene ersichtlich und man kann mit Formeln 5.3.1 mögliche radiale Umklappeffekte berechnen.



Abb.35: Punktabweichungen aus Entzerrungsebene

3. Bildentzerrung

Der erste Arbeitsschritt bestand in dem Einladen des Bildes und anschließendem Zuschneiden. Um eventuelle Restfehler der Entzerrung bei der folgenden Mosaikbildung so gut wie möglich zu verbergen, erfolgte der Zuschnitt des Bildes entlang der Steinfugen. Für die radiometrische Anpassung wurde nicht direkt an den Passpunkten abgeschnitten, sondern ein Überlappungsbereich für das sich anschließende Bild geschaffen.

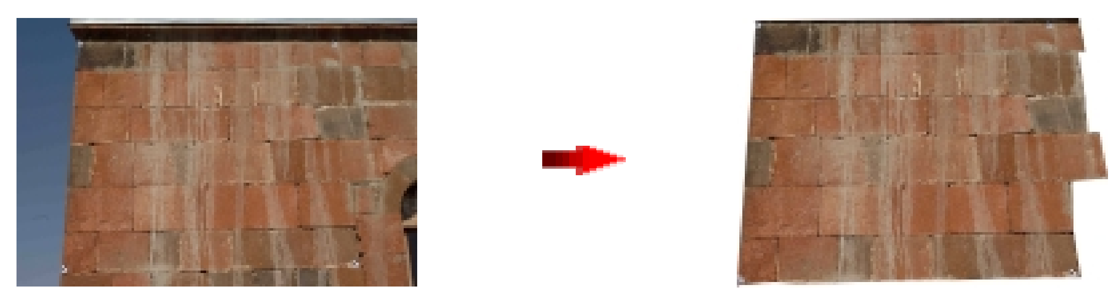


Abb.36: Zuschnitt

Über die Befehlsreferenz „Entzerren“ wird die Photoentzerrung nach Passpunkten (Projektive Transformation) gestartet. Es öffnete sich ein umfangreiches Dialogfeld, welches sich in verschiedene Abschnitte gliedert. Nach „Klick“ auf die Schaltfläche „Neu“ und zuordnen des Bildes, müssen die Passpunkte den Passpunktmarken zugeordnet werden.

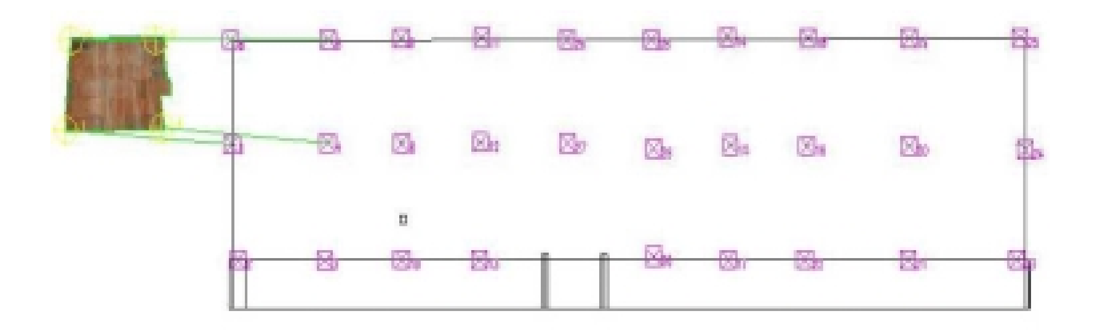


Abb.37: Zuordnung der Passpunkte

Die gewählten Passpunkte für die Entzerrung werden im Pulldown-Menü in einer Tabelle aufgelistet.

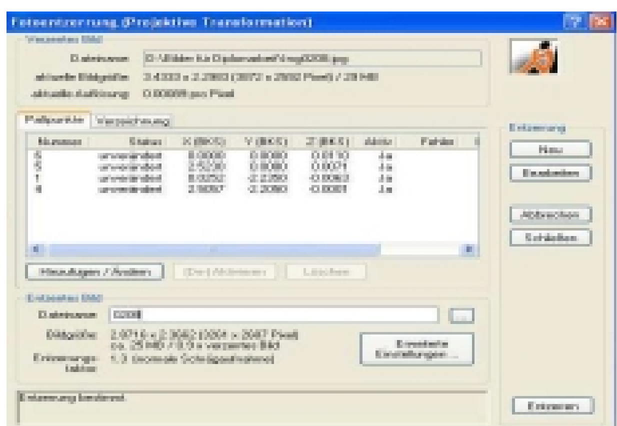


Abb.38: Pulldown-Menü Fotoentzerrung

Es ist sinnvoll mit einer Vielzahl von Passpunkten (>4) das Entzerrungsproblem über zubestimmen, so dass bei der Berechnung der Entzerrungsparameter eine Ausgleichung durchgeführt werden kann. Die Fehlerwerte (Restklaffen) für jeden einzelnen Punkt als auch ein globales Gütemaß (Standardabweichung "SD") liegen damit vor. Anhand dieser Werte ist zu erkennen, wie gut die gemessenen Bildpunkte mit den Passpunkt-koordinaten "zusammenpassen". Um eine Entzerrung mit guter Qualität zu erhalten, sollten diese möglichst klein sein. Als Richtwert für die Einzelfehler gilt 0,01 bis 0,02m. Um Fehlerquelle zu lokalisieren, können Punkte mit hohen Fehlerwerten aus der Berechnung herausgenommen werden.

Bevor die Entzerrung gestartet wird, sind unter „Erweiterte Einstellungen" noch einige Vorkehrungen zu treffen. So kann man Einfluss auf die Auflösung, durch Ändern der Pixelanzahl und Maßstab des resultierenden Bildes nehmen. Auch die durch die Kalibrierung bestimmte Objektivverzeichnung kann jetzt angebracht werden. Dazu wurde eine alte Datei mit den neu ermittelten Verzeichnungswerten bestückt und in das Programm eingelesen. Mit Betätigen des Buttons „Entzerren" wird der Entzerrungs-prozess vollzogen.



Abb.39: Verzerrtes und Entzerrtes Bild

8.5.2 Mosaikbildung

Um die Bilder geometrisch zusammen zufügen, unterzog man jedes Photo den unter Drittens (Bildentzerrung) im Abschnitt 8.5.1 beschriebenen Vorgängen. Für die Stabi-lisation der Bilder untereinander wurden darüber hinaus Verknüpfungspunkte mit in die Entzerrung einbezogen. Als Zwischenresultat liegt die gesamte Fassade als Summe

vieler Einzelbilder vor. Das Zusammenfügen zu einem Gesamtbild konnte mit dem PhoToPlan-Befehl „Montieren“ realisiert werden.

Beim Montieren war darauf zu achten, die Bilder in der entsprechenden Reihenfolge auszuwählen, so dass bei überlappenden Bildausschnitten auch das gewollte Bild oben liegt und somit sichtbar ist. Dies war sehr wichtig, da die im Vorfeld kreierten Schnittkanten sonst nicht ihre Wirkung hatten.

Zur radiometrischen Anpassung konnte man weiterführende Funktionen zur Bildmontage aktivieren. So bietet PhoToPlan die Möglichkeit mit der „Automatischen Helligkeitsanpassung“, mittlere Helligkeits- und Farbniveaus aller zu montierenden Teilbilder aneinander anzugleichen.

Aufgrund der hohen Anzahl der Bilder pro Fassade und dementsprechend hoher Bildgrößer (ca. 40MB) dauerte der Montageprozess einige Zeit (bis zu 4min). Als Endergebnis liegt nun ein maßstabsgerechtes reales Fassadenbild in einer AutoCad-Zeichnung vor. Jenes wurde für kleinere Schönheitskorrekturen in Photoshop weiter aufbereitet. Mit dem „Kopierstempelwerkzeug“ wurden die Passpunktmarken und ein Großteil der auf der Fassade befindlichen Schatten eliminiert. Für die bessere Weiterverarbeitung ist das Bild abschließend in einer geringeren Auflösung abgespeichert worden.



Abb.40: Nordfassade



Abb.41: Westfassade

Die entstandenen Fassadenfotos konnten nun dazu genutzt werden, in Rhinoceros ein maßstabsgetreues, real texturiertes Bild der Kirche (von außen!) zu schaffen, sowie die Fassadenpläne mit der Hilfe von AutoCad abzuleiten

8.5.3 Fassadenpläne

Zum Erstellen eines Fassadenplanes wurde ein Fassadenbild mit Hilfe von PhoToPlan erneut auf die jeweilige Außenwand der Kirche gelegt. Durch das Anlegen eines neuen BKS für die Fassadenebene konnte die Konstruktion erleichtert werden, da die Ansicht nun frontal auf die Ebene war. Des Weiteren konnten Linien, die versehentlich beim Zeichnen aus der Fassadenebene „heraustraten", zurück transformiert werden. Dazu mussten lediglich die Z-Werte der Anfangs- und Endpunkte einer Linie wieder auf 0 gesetzt werden. Nachdem alle Steinfugen nachgezeichnet waren, erhielt man letztlich einen zweidimensionalen Plan der Außenwand der Kirche.

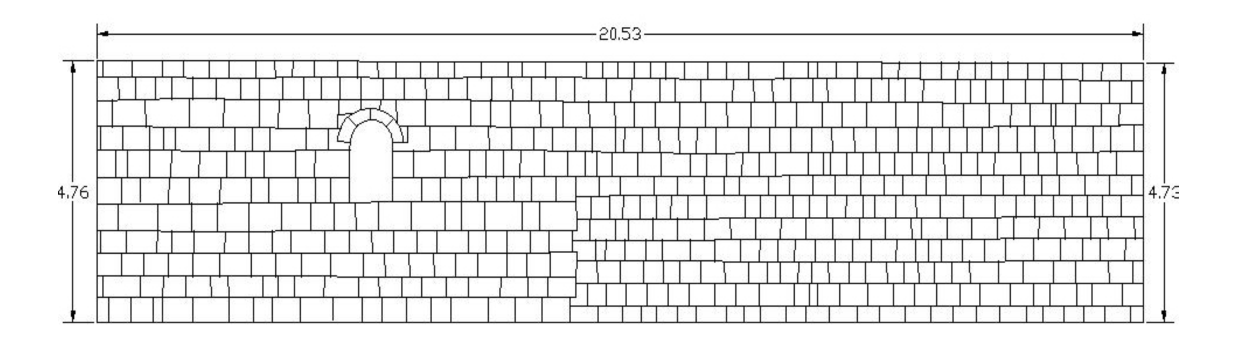


Abb.42: Nordfassade

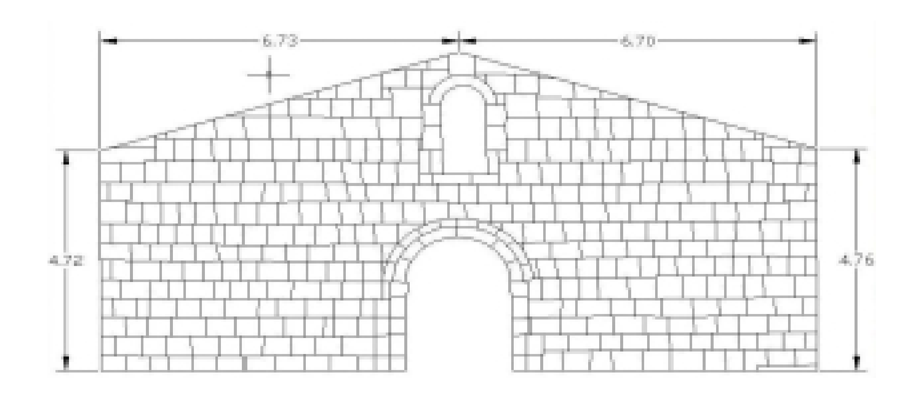


Abb.43: Westfassade

8.5.4 Lokalisierung alter Innenschriften

Eine weitere Aufgabe dieser Diplomarbeit bestand in der Lokalisierung alter Inschriften in den Fassaden und deren Visualisierung. Mit Hilfe solcher Pläne sollen Archäologen schnell und unkompliziert altes Gestein ausfindig machen und analysieren können.

Dazu wurden alle Fassadenpläne in eine AutoCad-Zeichnung geladen, sodass die äußere Gestalt der Kirche allein durch die Gesteinsfugen wieder hergestellt war. Nach dem Durchforsten der Fassadenbilder fiel schnell auf, dass lediglich für die Ost- und Westfassade Steine mit Inschriften beim Wiederaufbau der Kirche verwendet wurden (Vereinzelt auch auf der Südseite). Um die bestmögliche Auflösung zu erhalten, wurden aus den Originalfotos die markanten Stellen ausgeschnitten und mit PhoToPlan auf die passende Stelle in der Fassade „entzerrt“.

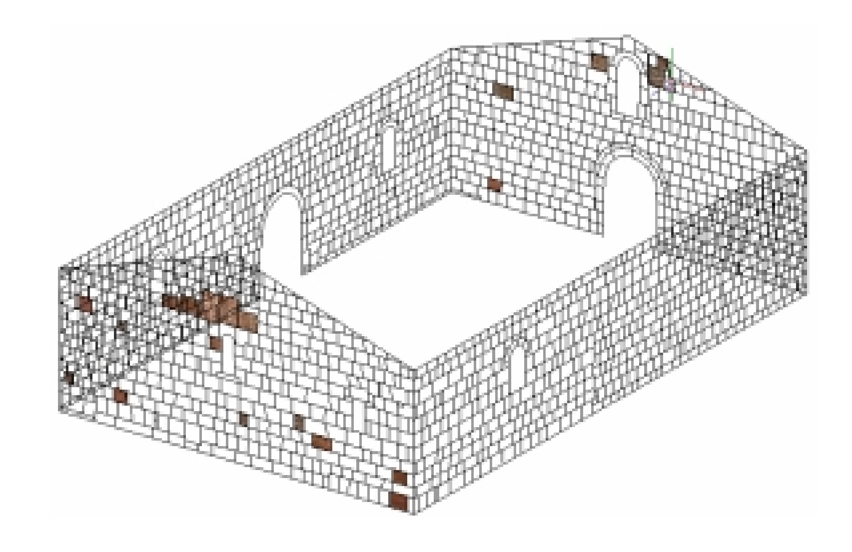


Abb.44: Fassadenplan mit Inschriften

8.6 Präsentation als virtuelles Modell

Um das in Rhinoceros entwickelte 3 dimensionale Modell der Kirche der Öffentlichkeit schell und unkompliziert zur Verfügung zu stellen, exportierte man die Dateien nach **VRML**. Die **V**irtual **R**eality **M**odeling **L**anguage ist eine Beschreibungssprache, die es ermöglicht virtuelle 3D-Welten zu erschaffen und diese im Internet mit einem geeigneten Browser oder auf anderen Plattformen zu präsentieren. Die im ASCII-Format abgespeicherte Datei hat die Endung .wrl (World).

„Vrmlview“ ist ein Visualisierungsprogramm aus der Reihe der OpenSource-Software, in das die kreierten wrl-Dateien eingeladen werden können. Hier bietet sich dem Benutzer die Möglichkeit das 3D-Modell, im selbst gewählten Abstand und aus einer beliebigen Richtung zu betrachten. Ebenfalls kann das Modell in Bewegung versetzt werden. Die Darstellung wird vom Computer in Echtzeit generiert, was bedeutet, dass der Computer jedes einzelne Bild aus den vorhandenen Geometriedaten und aus dem Verhalten und den Bewegungen des Benutzers ständig neu berechnet. Die Software „Vrmlview“ ist den Anlagen beigefügt

Hiermit wird darauf aufmerksam gemacht, dass die volle „Schönheit“ und der realitätsnahe Eindruck der drei unterschiedlichen Modelle der Kirche nur in Rhinoceros zum tragen kommen!

9. Fazit / Ausblick

Hauptziel dieser Diplomarbeit war es, die in Aramus gelegene Kirche „Surb Hakop“ vermessungstechnisch zu erfassen und mit einem geeigneten Modellierungsprogramm ein dreidimensionales Modell anzufertigen. Zusätzlich sollten aus photogrammetrischen Aufnahmen zweidimensionale Fassadenpläne erstellt werden. Dieses Vorhaben ist vollständig umgesetzt worden und somit als gelungen zu bewerten. Als Ergebnis kann ein virtuelles Modell präsentiert werden, welches der Realität sehr nahe kommt und auch außerhalb des Modellierungsprogramms der Öffentlichkeit gezeigt werden kann. Darüber hinaus sind maßstabsgetreue digitale Bildpläne aller Fassaden entstanden, in denen alte Inschriften visualisiert wurden.

Gerade die reflektorlose Aufnahme ist ein willkommener technischer Fortschritt und vereinfacht die Datengewinnung enorm. Höher gelegene, für Handaufmass oder Reflektor unzugängliche Punkte, können schnell und unkompliziert gemessen werden. Jedoch ist das Führen des analogen Feldbuchs eine eher nervenaufreibende und zeitintensive Arbeit. Möglichkeiten dies zu umgehen, bietet z.B. die Firma Kubit mit dem Programm TachyCad an. Mit der speziell für die Bauaufnahme konzipierten AutoCad-Applikation ist die Kombination von Tachymeter und Laptop umgesetzt worden, was ein bequemes Online-Messen ermöglicht. Vor Ort können z.B. gleich Netzausgleichung und Stationierung mit TachyCad realisiert werden. Zudem erleichtern einige programmspezifische Befehle, wie die Berechnung von ausgleichenden Ebenen oder Wandschnitten, die Erstellung des Drahtmodells und Flächenmodells. Alle gemessenen Daten werden gleich im Feld ausgewertet und auf ihre Konsistenz geprüft. Aus zeitlichen und organisatorischen Gründen im Vorfeld dieser Arbeit kam dieses Messprinzip leider nicht zum Einsatz!

Bei der Auswertung der Daten kam eine Vielzahl von Anwendungsprogrammen zum Einsatz. Die Einarbeitung in diese war mitunter recht mühsam und zeitaufwendig. Gerade Pictran und Neptan bereiteten viel Kopfzerbrechen. Hatte man jedoch die anfängliche Lernphase überwunden, war ein schnelles und unkompliziertes Arbeiten möglich. Dank der benutzerfreundlichen Bedienbarkeit von PhoToPlan konnten die immensen Datenmengen (über 50 Fotos) in ansprechender Zeit ausgewertet werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Dokumentation bestehender Bausubstanz eine komplexe Aufgabe ist, die bei der durchführenden Person ein hohes Maß an Sachverstand voraus setzt. Eine große Hilfe werden wohl die in Zukunft kommenden integrierten Systeme sein. Sie können die Datengewinnung durch Kombination von Handaufmaß, geodätischen Messungen, Photogrammetrie und Laserscanning um ein Vielfaches vereinfachen. Auch die rasch fortschreitende Software-Entwicklung wird ihren Beitrag zu noch schnellerer und einfacherer Auswertungmethodik beisteuern. Gerade das noch jungfräuliche Feld der digitalen Bildverarbeitung weist derzeit die größte Dynamik auf. Hier stoßen die technologischen Entwicklungen aus dem Bereich der Computervision mit denen aus dem Bereich digitaler Photogrammetrie zusammen.

Man darf also gespannt sein, was die Zukunft bringt!

Quellenverzeichnis

Luhmann, T. (2000): Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen, Wichmann Verlag, Heidelberg

Deumlich , F. (1988): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik 8.Aufl., VEB Verlag für Bauwesen, Leipzig

Assig, M. / Söhn, A. (2002): Vermessung der Sankt-Hedwig-Kapelle in Berlin, Technische Fachhochschule Berlin

Heims, N. / Bergmann, M. (2006): Aufmass der Wassermühle Worin, Technische Fachhochschule Berlin

Westermann (2002): Diercke Weltatlas, Schulbuchverlag GmbH

Bertelsmann (2005): Länder Lexikon 2, Nord-, Ost- und Westeuropa, Bertelsmann Lexikon Verlag GmbH

Technet: Programmbeschreibung und Benutzeranleitung PICTRAN-B und D

Technet: Programmbeschreibung und Benutzeranleitung NEPTAN / GPS für Windows

Wiedemann, A. (2004): Handbuch Bauwerksvermessung, Birkhäuserverlag

Kubit GmbH (2006) : Handbuch PhoToPlan 4.0, Vom Foto zum Aufmaß

Kern, F. (2001): Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorlose Polaraufnahme

Resnik, B. (WS 2007/2008): Ingenieurvermessung II, unveröffentlicht

http://www.foto-net.de (Juni 2008)

Anlagen auf CD

- PDF-Dokument der Diplomarbeit
- **Zu 8.1:** Eingabe- und Ausgabedateien BETAN/NEPTAN
- **Zu 8.2:** Drahtmodell sowie Grundriss im Dwg-Format (Für AutoCad 2000+2007)
- **Zu 8.3:** Farben- und Texturmodell der Kirche als 3dm-Rhino-Dateien mit den dazu gehörigen Texturfotos
- **Zu 8.4:** Bunbil.out und Kammeradatei von Pictran für das 20er und 35er Objektiv
- **Zu 8.5:** *Ordner* „Fassadenfotos" mit allen Fassaden als digitale Bilder im JPG-Format. *Ordner* „Fassadenpläne" mit den Plänen aller Fassaden und Fassadenplan „3D" mit den dazu gehörigen entzerrten Fotos(AutoCad 2000+2007). *Ordner* „Rhino-Fassadentextur" mit „modell-Realtextur" im Rhinoformat und den dazu gehörigen Fassadenbildern.
- **Zu 8.6:** Nach VRML exportierte Modelle der Kirche (Farben.wrl, Textur.wrl, Realtextur.wrl), sowie die benötigten Fassaden- und Texturfotos. Programm „vrmlview.exe" zum Visualisieren der Modelle.
- „freedwgviewer.exe"- für das Einladen aller Dwg-Dateien. (Da dem Viewer die Möglichkeit fehlt die Modelle zu drehen, wird AutoCad für das Öffnen der Dateien empfohlen. Auch der Fassadenplan „3D" wird nicht im vollen Maße im „Viewer" umgesetzt. Hier werden alle Fotos der Westseite nicht abgebildet!)

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Datum, Unterschrift

Danksagung

Zum Abschluss möchte ich allen danken, die mir während dieser Arbeit in jeglicher Form zur Seite standen und geholfen haben.

Den größten Dank widme ich dem „Institut für Alte Geschichte und Sprachen und Kulturen des Alten Orients“ in Person von Prof. Dr. Wilfried Allinger-Csollich. Sie gaben mir die Möglichkeit Mitglied der jährlich vollzogenen Lehrgrabung in Armenien zu sein und darüber hinaus mein Diplomthema dort zu erarbeiten. Nicht nur, dass Unterkunft und Verpflegung komplett von der Universität Innsbruck übernommen wurden. Auch die wegweisenden Vorschläge zu meinem Projekt halfen enorm.

Einen besonderen Dank an Dipl. Ing. Klaus Kerkow, welcher erst die Verbindung zur Universität Innsbruck herstellte und somit der Initiator des ganzen Projektes war. Danke für den Einblick in die vermessungstechnischen Geschehnisse in der Archäologie, und vor allen Dingen für die Hilfestellungen vor Ort und bei der Bearbeitung der Daten in Berlin.

Danke an Prof. Dr.-Ing. Boris Resnik, Prof. Dr.-Ing. Dieter Schwenkel sowie Dipl. Ing. Marko Koch für die Hinweise und Erklärungen zu allen vermessungstechnischen Fragen.

Danke an den Deutschen Akademischen Austauschdienst, welcher durch ein mir verliehenes Stipendium das Flugticket sowie Taschengeld zur Verfügung stellte.

Einen herzlichen Dank auch an meine Eltern und meine Freundin für die moralische Unterstützung Tag für Tag. Ich weiß es war nicht immer einfach die richtigen aufbauenden Worte zu finden und meine Unausgeglichenheit zu ertragen. Danke auch für die Abnahme von so vielen alltäglichen Pflichten und das Korrekturlesen der Arbeit.

Ein paar Worte der Danksagung auch an Mag. phil. Dr. phil. Jasmine Dum-Tragut für die Unterstützung in Armenien und die Bereitstellung wichtiger Informationen zur Beschreibung der Kirche.

Unter dem Motto “geteiltes Leid ist halbes Leid“ einen abschließenden Dank an Christian Thiemig für die Zusammenarbeit und Hilfestellungen bei der Planung und Durchführung des Projektes.